

Aprendendo ciência

e sobre sua natureza: abordagens
históricas e filosóficas

Cibelle Celestino Silva
Maria Elice Brzezinski Prestes
Organizadoras



TIPOGRAPHIA
www.tipographia.com.br

São Carlos, 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas
/ Cibelle Celestino Silva e Maria Elice Brzezinski Prestes (organizadoras).
São Carlos: Tipographia Editora Expressa, 2013

562 p.

ISBN: 978-85-66568-01-1

1. Ensino de Ciências. 2. Física. 3. Filosofia da Ciência.

I. Título.

CDD - 530.7 (20^o.)

CDU - 530.7

Todos os direitos dos autores reservados. Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida, sejam quais forem os meios empregados, sem a permissão por escrito dos autores.

Diretor Editorial

Marcelo Santos

Diagramação, Capa e Produção

Tipographia Editora Expressa

SUMÁRIO

I. EPISÓDIOS HISTÓRICOS

Theorizing and the Weight of Received Metaphysics	17
<i>Alberto Cordero</i>	
Recontextualização didática do modelo de Huygens na física escolar	29
<i>Ana Carolina Staub de Melo, Frederico Firmo de Souza Cruz</i>	
Midgley e a tabela periódica: o desenvolvimento de novas moléculas na primeira metade do século XX	43
<i>Hélio Elael Bonini Viana, Paulo Alves Porto</i>	
Motor de Ampère: elementos para um ensino crítico da física.....	55
<i>João Paulo Martins Castro Chaib, André Koch Torres Assis</i>	
Aprendiendo de la historia del racismo científico: conceptos de “competición interracial” y “extinción de razas” en el discurso sobre evolución humana (1859-1900)	71
<i>Juan Manuel Sánchez Arteaga, Charbel Niño El-Hani</i>	
Arrhenius and Armstrong: How active opponents in the history of chemistry became major contributors to modern electrolyte chemistry	85
<i>Kevin C. de Berg</i>	
Michael Faraday e a química: análise, síntese e reatividade.....	97
<i>Paulo Alves Porto, José Otavio Baldinato, Jennifer Amanda Zsurger Nagy</i>	
The law of inertia and vis insita: Newton and his sources	115
<i>Roberto de Andrade Martins</i>	
The history of the photoelectric effect as depicted in laboratory instructions	129
<i>Stephen Klassen, Mansoor Niaz, Don Metz, Barbara McMillan, Sarah Dietrich</i>	

II. TÓPICOS DE FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA

Um diálogo entre a Sociologia da Ciência e a Educação Matemática: a simetria e questão dos significados na matemática escolar	145
<i>Denise Silva Vilela, Thales Haddad Novaes de Andrade</i>	
Crítica à tentativa de definir o determinismo por meio do Demônio de Laplace.....	159
<i>Douglas Ricardo Slaughter Nyimi, José Aquiles Baesso Grimoni</i>	
Análise de um típico argumento místico-quântico	171
<i>Oswaldo Pessoa Jr.</i>	
Vieses cognitivos e suas consequências epistemológicas para o ensino de ciências e matemática	185
<i>Renato Rodrigues Kinouchi, Plínio Zornoff Táboas</i>	
O debate realismo/antirrealismo em situações de ensino de física, à luz da interface entre história e filosofia da ciência	197
<i>Sonia Maria Dion, Marcus Vinícius Russo Loures</i>	

III. NATUREZA DA CIÊNCIA

Controvérsias sobre a natureza da ciência na educação científica	213
<i>Alexandre Bagdonas, Cibelle Celestino Silva</i>	
Whither the VNOS?	225
<i>David W. Rudge, Eric M. Howe</i>	
Comparação das ferramentas VNOS-C e VOSE para obtenção de concepções de alunos do IB/USP acerca da Natureza da Ciência.....	235
<i>João Paulo Di Monaco Durbano, Maria Elice Brzezinski Prestes</i>	
Abordando a Natureza da Ciência na formação de professores de física: desafios e perspectivas	251
<i>Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira</i>	
Aspectos da natureza das Ciências em sala de aula: exemplos do uso de textos científicos em prol do processo de Alfabetização Científica dos estudantes	265
<i>Lúcia Helena Sasseron, Viviane Briccia, Anna Maria Pessoa de Carvalho</i>	
Concepciones epistemológicas y enseñanza de las ciencias.....	277
<i>María B. García, Silvia Vilanova, Sofía Sol Martín</i>	
Representaciones sobre los procedimientos científicos en el discurso de los docentes de ciencias de secundaria	297
<i>María Teresa Guerra-Ramos</i>	
Natureza de la ciencia: Acuerdos teóricos en la comunidad iberoamericana de didáctica de las ciencias.....	309
<i>Rafael Yecid Amador Rodríguez, Agustín Adúriz Bravo</i>	
Entre o discurso e a prática sobre História, Filosofia e Natureza da Ciência e a sala de aula de Física: um panorama a partir dos eventos de Ensino de Física.....	319
<i>Rilavia Almeida de Oliveira, Ana Paula Bispo da Silva</i>	

IV. APLICAÇÕES EM SALA DE AULA

Students' beliefs about the diachronic nature of science: a metaphor-based analysis of 8th-graders' drawings of "the way of science"	333
<i>Andreas Henke, Dietmar Höttecke</i>	
Historia y actividad experimental: una discusión relevante que interpela la enseñanza	363
<i>Carola Astudillo, Alcira Rivarosa, Félix Ortiz</i>	
Divulgação do episódio da expedição do francês Pierre Couplet em aulas de física no PROEJA.....	377
<i>Cassiana Barreto Hygino Machado, Marília Paixão Linhares</i>	
Story interrupted: using History and Philosophy of Science in everyday instruction	389
<i>Don Metz</i>	
Shadows of Light and History in Explorative Teaching and Learning.....	397
<i>Elizabeth Cavicchi</i>	

Estudo de cosmologia moderna no ensino médio através da história da física: diálogos interdisciplinares	411
<i>José Claudio Reis, Andreia Guerra, Marco Braga</i>	

Uma proposta de classificação para os tipos de aplicação da história da ciência na formação científica: implicações para a pesquisa e desenvolvimento	425
<i>William McComas</i>	

V. MATERIAIS INSTRUCIONAIS

Presencia de la visión a histórica y aproblemática de la ciencia en la enseñanza del concepto elemento químico	451
<i>Dulce María López Valentín</i>	

O tratamento dado à História da Biologia nos livros didáticos brasileiros recomendados pelo PNLEM-2007: análise das contribuições de Gregor Mendel	461
<i>Fabricio Barbosa Bittencourt, Maria Elice Brzezinski Prestes</i>	

Análise da genética clássica nos livros didáticos do ensino superior e implicações para a formação de professores de Ciências Naturais	477
<i>Gilberto Oliveira Brandão, Louise Brandes Moura Ferreira</i>	

Do fazer ao pensar quimicamente: a química e seu ensino através de livros didáticos do século XX	487
<i>Karina Aparecida de Freitas Dias de Souza, Paulo Alves Porto</i>	

VI. FORMAÇÃO DE PROFESSORES E CURRÍCULO

Historia de la Ciencia en la formación profesional docente. Aportes y debates para la enseñanza de la Electroquímica	513
<i>Johanna Camacho González, Mercé Izquierdo, Núria Solsona</i>	

Hacia una reconstrucción del currículo de la química	527
<i>José Antonio Chamizo, Andoni Garritz</i>	

Análise de práticas pedagógicas realizadas em atividades de formação continuada de professores de Física: limites e possibilidades	537
<i>Sandra Regina Teodoro Gatti, Roberto Nardi</i>	

De la filosofía de la ciencia a la filosofía de la psicología: avatares en un cambio curricular	551
<i>Zuraya Monroy-Nasr, Rigoberto León-Sánchez, Germán Alvarez-Díaz de León, Kirareset Barrera García, Fernando Flores Camacho, Leticia Gallegos Cázares, Elena Calderón Canales</i>	

Apresentação

Na América Latina, há uma série de conferências que reúnem pesquisadores em história, filosofia e sociologia das ciências naturais e matemática. Há também conferências para educadores de ciências. Várias destas conferências possuem seções específicas para as relações entre ambas as áreas, mas estas seções isoladas de "interesse especial" não são suficientes para criar a identidade de uma comunidade dedicada especificamente às sobreposições entre história, filosofia e sociologia da ciência com a ciência e o ensino de matemática.

Para discutir este tema e apresentar os resultados de estudos recentes, reuniram-se em Maresias, SP no período de 16 a 21 de agosto de 2010, cerca de 200 pesquisadores – professores e estudantes de pós-graduação – para realizar dois eventos consecutivos: a 8ª Conferência Internacional sobre História da Ciência na Educação em Ciências (8th ICHSST), e a 1ª Conferência Latino-Americana do Grupo Internacional de História, Filosofia e Ensino de Ciências (1st IHPST-LA).

8th ICHSST deu continuidade a uma série de encontros iniciados na Alemanha, reunindo um grupo limitado de especialistas internacionais. Pela primeira vez o evento foi realizado fora do eixo Europa-América do Norte com o tema foi “Aprendendo ciência e sobre a ciência através da história”. Foram apresentadas 22 conferências convidadas, abordando experiências de uso de história da ciência em vários países do mundo e diversos temas relativos à sua aplicação em diferentes níveis educacionais, nas diversas disciplinas.

A 1st IHPST-LA inaugurou reuniões destinadas a congregar pesquisadores em História e Filosofia da Ciência e educadores em ciência na América Latina. O objetivo era o de fortalecer esta linha de pesquisa da educação científica no continente. O grupo IHPST, criado por Michael Matthews em 1989, tem promovido congressos internacionais bienais que tiveram grande importância no desenvolvimento da aplicação de história e filosofia da ciência no ensino, levando também à criação da revista *Science & Education*, que é considerada a mais importante publicação da área, em todo o mundo. A realização da conferência latino-americana permitiu que os pesquisadores e estudantes do Brasil e de outros países da região não apenas assistissem aos trabalhos de conhecidos pesquisadores europeus e norte-americanos, como também apresentassem suas pesquisas e trocassem experiências, o que certamente estimulou muito o desenvolvimento dessa área de estudos na América Latina. Durante essa segunda conferência foram apresentados cerca de 120 trabalhos, havendo grande número de pesquisadores brasileiros, mas também expressiva participação de outros países, como Argentina, México, Colômbia, Chile, Portugal, Espanha, Estados Unidos, Canadá, Austrália, Alemanha, Suécia e Turquia.

Um assunto bastante discutido durante as conferências foi a existência de uma visão inadequada sobre os cientistas e sobre a natureza da ciência não apenas entre os estudantes, mas também presente entre os professores e nos livros-texto científicos. Tem-se buscado conseguir a alteração dessas visões equivocadas sobre a natureza da ciência através da apresentação de exemplos da história da ciência, acompanhados de uma discussão dos aspectos relevantes sobre a natureza da ciência. Durante as conferências de Maresias foram apresentados diversos exemplos de estudos históricos detalhados que podem ser utilizados para transmitir mensagens sobre como se faz ciência e foram discutidas as estratégias didáticas para envolver os estudantes de todos os níveis

no estudo desses episódios – por exemplo, por meio de análise de textos originais, pela realização de experimentos inspirados na história, pela discussão de narrativas históricas interrompidas e entremeadas por diversas atividades, etc.

As principais dificuldades apontadas no uso de história e filosofia da ciência no ensino são a falta de preparo dos professores, a carência de material didático adequado (suficientemente profundo, mas não excessivamente complicado), o conflito entre as mensagens trazidas pela história e filosofia da ciência e as visões prévias de docentes e estudantes sobre a natureza da ciência, a falta de tempo para abordar história e filosofia da ciência no ensino tradicional e a resistência por parte de algumas instituições e dos próprios professores das disciplinas científicas, em todos os níveis. Discutiu-se também a importância de evitar alegações sem fundamento e não testadas sobre o uso de história e filosofia da ciência na educação, tais como afirmar que essa abordagem “desenvolve a criatividade” dos estudantes. É importante ter uma visão clara sobre aquilo que se pode obter e sobre o modo de avaliar os resultados efetivamente obtidos.

Apesar das dificuldades, há um grande número de usos bem sucedidos de utilização de história e filosofia da ciência no ensino, e a continuação das pesquisas e discussões sobre o assunto deverá permitir o aperfeiçoamento dessa abordagem educacional.

Os eventos de Maresias foram organizados pela Universidade de São Paulo, contando com o apoio da FAPESP, da CAPES, do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (IHPST), da Teaching Commission of the Division of History of Science and Technology pertencente à International Union of History and Philosophy of Science, e também da editora Springer, que publica a revista *Science & Education*. Esse periódico dedicou a edição especial 21: (5) de 2012 às conferências, publicando sete trabalhos selecionados.

Com o intuito de divulgar de forma mais ampla os conteúdos das pesquisas realizadas na América Latina, organizamos o presente volume contendo uma rigorosa seleção de 38 trabalhos, dentre os 184 apresentados. Distribuídos em 8 partes – episódios históricos, tópicos de filosofia e sociologia da ciência, natureza da ciência, aplicações em sala de aula, materiais instrucionais e formação de professores e currículo – os capítulos deste livro discutem uma ampla gama de temas sob diferentes abordagens metodológicas, epistemológicas e didáticas, refletindo a riqueza de pesquisas desenvolvidas no continente e no estrangeiro.

O sucesso da iniciativa em se realizar a primeira conferência regional na América Latina se atesta pelo fato de uma segunda edição ter acontecido em Mendoza, Argentina em 2012 e uma terceira programada para ocorrer no Chile em 2014.

Agradecemos o apoio recebido do Instituto de Física São Carlos e do Instituto de Biociências, ambos da Universidade de São Paulo, para a publicação deste livro e também a contribuição dos seguintes pesquisadores que atuaram como parecerista desta obra:

- Adreas Henke
- Agustín Aduriz-Bravo
- Alcira Susana Rivarosa
- Alvaro Garcia Martinez
- Lúcia Helena Sasseron
- Luciana Zaterka
- Marcos Antonio Pinto Ribeiro
- Maria Elice Brzezinski Prestes

- Ana Paula Bispo da Silva
- Ana Haddad Baptista
- Andre Ferrer Pinto Martins
- Andre Koch Torres de Assis
- Breno Arsioli Moura
- Cesar Valmor Machado Lopes
- Cibelle Celestino Silva
- Cristina Leite
- David Rudge
- Denise S. Vilela
- Don Metz
- Elio Carlos Ricardo
- José Antonio Chamizo
- Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira
- Lilian Al-Chueyr P. Martins
- Marise Basso Amaral
- Marta Ferreira Abdala Mendes
- Osvaldo Frota Pessoa Junior
- Paulo Alves Porto
- Paulo José Carvalho da Silva
- Plínio Zornoff Táboas
- Renato Rodrigues Kinouchi
- Ricardo Coelho
- Roberto de Andrade Martins
- Sonia Maria Dion
- Stephen Klassen
- Thaís Cyrino de Mello Forato
- Ubiratan d'Ambrosio
- Waldmir Nascimento de Araujo Neto
- William McComas

Cibelle Celestino Silva (Instituto de Física da USP de São Carlos, USP)

&

Maria Elice Brzezinski Prestes (Instituto de Biociências, USP)

Presentation¹

In Latin America, there are conferences that bring together researchers in history, philosophy and sociology of natural sciences. There are also conferences for science educators. Several of these conferences have specific sections devoted to relations between both areas, but these isolated sections are not sufficient to represent a growing community dedicated specifically to the overlaps between history, philosophy and sociology of science and science teaching.

In order to discuss this theme and to present the results of recent studies, about 200 researchers - professors and graduate students - met in Maresias, SP in 16-21 August 2010 at the 8th International Conference on the History of Science in Science Education (8th ICHSST) and the 1st Latin American Conference of the International group of History, Philosophy and Science Teaching (1st IHPST - LA). The 8th ICHSST continued a series of meetings started in Germany, bringing together twenty two invited lectures in this edition. For the first time the event was held off the Europe-North America axis with the theme "Learning science and about science through history". The 1st IHPST - LA meeting aimed to bring together researchers in history and philosophy of science and science educators in Latin America, in order to strengthen the field in the continent. The IHPST group, created by Michael Matthews in 1989, has promoted biennial international meetings that had great importance in the development of the application of history and philosophy of science in education, also leading to the creation of the journal *Science & Education*, which is considered the most important publication in the area worldwide. The realization of the Latin-american conference allowed researchers and students from Brazil and other countries in the region not only to attend to the works of well-known European and American researchers, as well to present their research and exchange experiences, which certainly stimulated the development of this area of study in Latin America. During this second conference about 184 papers were presented, with large numbers of Brazilian researchers, but also significant participation of other countries such as Argentina, Mexico, Colombia, Chile, Portugal, Spain, United States, Canada, Australia, Germany, Sweden and Turkey.

The main difficulties identified in the use of history and philosophy of science in education are the lack of preparation of teachers, the lack of suitable teaching material (with an adequate historical approach, but not too detailed for classroom use), the conflict between the messages brought by the history and philosophy of science and the previous ideas of teachers and students about the nature of science, the lack of time to address the history and philosophy of science in traditional teaching and the institutional barriers. It was also discussed the importance of avoiding baseless and untested allegations on the use of history and philosophy of science in education, such as stating that this approach "develops the creativity" of students. It is important to have a clear vision of what you can get and on how to evaluate the actual results. A frequent topic during the conference was the existence of inadequate views about scientists and the nature of science among students, teachers and in

¹ Translated by Marcelo Viktor Gilge.

textbooks. In order to deal with this problem, several presentations brought examples from history of science, accompanied by a discussion on the relevant aspects of the nature of science. Teaching strategies were also presented using, for instance, analysis of original texts, performance of historical experiments, use of narratives etc.

Despite the difficulties, there are a large number of successful uses of using history and philosophy of science in education, and further research and discussions on the subject should allow the improvement of this educational approach.

The conferences were organized by the University of São Paulo, with the support of FAPESP, CAPES, the International History, Philosophy, and Science Teaching Group (IHPST), the Teaching Commission of the Division of History of Science and Technology that belongs to International Union of History and Philosophy of Science, and Springer publishing house, which publishes the journal *Science & Education*. This journal devoted the 2012 special edition 21: (5) to the conferences, publishing seven selected papers.

The present volume brings a strict selection of 38 works from the 184 submitted. Distributed in 8 parts – historical events, topics of philosophy and sociology of science, nature of science, applications in the classroom, instructional materials and teacher training and curriculum – the chapters in this book discuss a wide range of topics under different methodological, epistemological and didactic approaches, reflecting the richness of research developed on the continent and abroad.

The success of the initiative in performing the first regional conference in Latin America is attested by the fact that a second edition were held in Mendoza, Argentina in 2012 and a third is scheduled to take place in Chile in 2014.

We appreciate the support received from the Institute of Physics of São Carlos and from the Bioscience Institute, both from University of Sao Paulo to the publication of this book. We also thank Marcelo Viktor Gilge, Angelica Cristina Porra and the contribution of the following researchers that acted as referees for this work:

- Adreas Henke
- Agustin Aduriz-Bravo
- Alcira Susana Rivarosa
- Alvaro Garcia Martinez
- Ana Paula Bispo da Silva
- Ana Haddad Baptista
- Andre Ferrer Pinto Martins
- Andre Koch Torres de Assis
- Breno Arsioli Moura
- Cesar Valmor Machado Lopes
- Cibelle Celestino Silva
- Cristina Leite
- Lúcia Helena Sasseron
- Luciana Zaterka
- Marcos Antonio Pinto Ribeiro
- Maria Elice Brzezinski Prestes
- Marise Basso Amaral
- Marta Ferreira Abdala Mendes
- Osvaldo Frota Pessoa Junior
- Paulo Alves Porto
- Paulo José Carvalho da Silva
- Plínio Zornoff Táboas
- Renato Rodrigues Kinouchi
- Ricardo Coelho

- David Rudge
- Denise S. Vilela
- Don Metz
- Elio Carlos Ricardo
- José Antonio Chamizo
- Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira
- Lilian Al-Chueyr P. Martins
- Roberto de Andrade Martins
- Sonia Maria Dion
- Stephen Klassen
- Thaís Cyrino de Mello Forato
- Ubiratan d'Ambrosio
- Waldmir Nascimento de Araujo Neto
- William McComas

Cibelle Celestino Silva (Institute of Physics of USP-São Carlos, USP)

&

Maria Elice Brzezinski Prestes (Institute of Biosciences, USP)

Presentación

En América Latina, hay una serie de conferencias que reúnen investigadores en historia, filosofía y sociología de la ciencia naturales y las matemáticas. Hay también conferencias para didactas de las ciencias. Varias de estas conferencias tienen secciones específicas que relacionan estas áreas, pero estas secciones aisladas de “interés especial” no son suficientes para crear una identidad de esta comunidad dedicada específicamente a las relaciones entre historia, filosofía y sociología de la ciencia como la enseñanza de las ciencias y de la matemática.

Para discutir estos temas y presentar resultados de investigaciones recientes, se reunieron en Maresias, SP en el periodo del 16 al 21 de Agosto del 2010, cerca de 200 investigadores – profesores y estudiantes de postgrado – para realizar dos eventos simultáneos: La 8ª Conferencia Internacional sobre Historia de la Ciencia en Educación en Ciencias, y la 1ª Conferencia Latino-Americana del Grupo Internacional de Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias (1st IHPST-LA)

La 8th ICHSST dio continuidad con los encuentros iniciados en Alemania, reuniendo a un grupo limitado de expertos internacionales. Por primera vez este encuentro fue hecho fuera del eje Europa-América del Norte teniendo como tema central el “Aprender ciencias y sobre las ciencias a través de la historia”. Se presentaron 22 conferencias, abordando experiencias del uso de la historia de la ciencia en varios países del mundo, como diversos temas relativos a su aplicación en diferentes niveles educativos, en las diferentes disciplinas.

El 1st IHPST-LA inauguro reuniones orientadas a reunir investigadores en Historia y Filosofía de la Ciencia y Didactas de las Ciencias en Latino-América. El propósito fue el de fortalecer esta línea de investigación de la didáctica de las ciencias en el continente. El grupo IHPST, creado por Michael Matthews en 1989, ha promovido congresos internacionales bienales que tuvieron gran impacto en el desarrollo de la aplicación de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza, llevando también a la creación de la revista *Science & Education*, que es considerada la revista más importante del área, en todo el mundo. El llevar a cabo la conferencia Latino-América, permitió que los investigadores y estudiantes de Brasil y de otros países de la región no solo pudieran conocer los trabajos de investigadores europeos y norteamericanos reconocidos, sino que además pudieran presentar sus investigaciones e intercambiar experiencias, lo que sin duda permitió el desarrollo de esta área de estudio en América Latina. En el segundo encuentro se presentaron cerca de 180 trabajos, con un gran número de investigadores brasileños, con una importante participación de otros países, como Argentina, México, Colombia, Chile, Portugal, España, Estados Unidos, Canadá, Australia, Alemania, Suecia y Turquía.

Un aspecto muy discutido durante los encuentros fue el de visión inadecuada acerca de los científicos y de la naturaleza de la ciencia, aspecto que no solo fue evidenciado en estudiantes, sino también en profesores y en libros científicos. Se intenta modificar dichas representaciones sobre la naturaleza de la ciencia a partir de la presentación de ejemplos de la historia de la ciencia, acompañado por un análisis de los aspectos más importantes sobre la naturaleza de la ciencia. Durante los encuentros de Maresias, se presentaron diferentes ejemplos de estudios históricos detallados, que pueden ser utilizados para mostrar como se hace la ciencia y se discutieron estrategias didácticas que permitirían involucrar a los estudiantes de todos los niveles educativos en

el estudio de esos episodios – por ejemplo, por medio del análisis de textos originales, por la realización de experimentos inspirados en la historia, por el análisis de narrativas históricas e intercaladas por diversas actividades, etc.

Las principales dificultades identificadas en el uso de la historia y de la filosofía de la ciencia en la enseñanza es la falta de preparación por parte de los profesores, la falta de materiales adecuados para su enseñanza (suficiente profundo, pero no excesivamente complicado), el conflicto entre la información que es traída de la historia y la filosofía de la ciencia y las representaciones de los profesores y estudiantes sobre la naturaleza de la ciencia, el escaso tiempo para abordar la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza tradicional y la resistencia por parte de algunas instituciones y por los propósitos de los profesores de las disciplinas científicas, en todos los niveles educativos. También se analizó la importancia de evitar afirmaciones sin fundamentos y no comprobadas sobre el uso de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza, como por ejemplo “desarrolla la creatividad” en los estudiantes. Es importante tener una visión clara sobre aquello de lo que se puede tener y la forma de cómo evaluar los resultados obtenidos realmente.

A pesar de las dificultades, existe un gran número de usos exitosos de la utilización de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza y la continuidad de las investigaciones y de las investigaciones sobre este asunto permitirán el mejoramiento de este enfoque didáctico.

Los encuentros en Maresias fueron organizados por la Universidad de São Paulo, con el apoyo de la FAPESP, el de CAPES, el de la International History, Philosophy, and Science Teaching Group (IHPST), el de Teaching Commission of the Division of History of Science and Technology, perteneciente a la International Union of History and Philosophy of Science y también de la editora Springer, que publica la revista Science & Education. Esta revista dedicó la edición especial 21: (5) de 2012 a las conferencias, publicando siete trabajos seleccionados.

Con el propósito de difundir de forma más amplia los contenidos de las investigaciones realizadas en Latino-América, se organizó el presente volumen conteniendo 38 trabajos los cuales fueron seleccionados rigurosamente, entre los 184 presentados. Distribuidos en 8 partes – episodios históricos, tópicos de filosofía y sociología de la ciencia, naturaleza de la ciencia, aplicaciones en el aula, materiales de enseñanza, formación de profesores y currículo – los capítulos de este libro analizan una amplia gama de temas bajo diferentes enfoques metodológicos, epistemológicos y didácticos, lo que refleja una riqueza de las investigaciones desarrolladas en el continente y en el extranjero.

El éxito de la realización de la primera conferencia regional en Latino-América se corrobora por el hecho de una segunda edición llevada a cabo en Mendoza, Argentina en el 2012 y una tercera que se realizará en Chile en el 2014.

Agradecemos el apoyo recibido por el Instituto de Física de São Carlos y Instituto Biotecnología, ambos de la Universidad de São Paulo. También queremos agradecer a Marcelo Viktor Gilge, Angélica Cristina Carajo y la contribución de los siguientes investigadores que participaron como evaluadores:

- Adreas Henke
- Agustin Aduriz-Bravo
- Alcira Susana Rivarosa
- Alvaro Garcia Martinez
- Ana Paula Bispo da Silva
- Ana Haddad Baptista
- Andre Ferrer Pinto Martins
- Andre Koch Torres de Assis
- Breno Arsioli Moura
- Cesar Valmor Machado Lopes
- Cibelle Celestino Silva
- Cristina Leite
- David Rudge
- Denise S. Vilela
- Don Metz
- Elio Carlos Ricardo
- José Antonio Chamizo
- Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira
- Lilian Al-Chueyr P. Martins
- Lúcia Helena Sasseron
- Luciana Zaterka
- Marcos Antonio Pinto Ribeiro
- Maria Elice Brzezinski Prestes
- Marise Basso Amaral
- Marta Ferreira Abdala Mendes
- Osvaldo Frota Pessoa Junior
- Paulo Alves Porto
- Paulo José Carvalho da Silva
- Plínio Zornoff Táboas
- Renato Rodrigues Kinouchi
- Ricardo Coelho
- Roberto de Andrade Martins
- Sonia Maria Dion
- Stephen Klassen
- Thaís Cyrino de Mello Forato
- Ubiratan d'Ambrosio
- Waldmir Nascimento de Araujo Neto
- William McComas

Cibelle Celestino Silva (Instituto de Física da USP de São Carlos, USP)

&

Maria Elice Brzezinski Prestes (Instituto de Biociências, USP)

I. EPISÓDIOS HISTÓRICOS

THEORIZING AND THE WEIGHT OF RECEIVED METAPHYSICS

Alberto Cordero*

Abstract: *Metaphysical ideas are part and parcel of scientific theorizing; but they are also notoriously underdetermined by empirical data, which some critics think compromises scientific objectivism. Still, theories that are rich in successful novel predictions make a compelling case that theoretical knowledge makes epistemic progress, or so I argue in this paper. My main contention is that theories with clear predictive power have contributed cumulative accounts and descriptions that are as “true” as anything in human life, despite their original embedding in eventually discarded metaphysics. The evidence I present uses as a case study the development of theories of light from Fresnel to Einstein, with special attention to how successful novel predictions have contributed to the unveiling of stable accounts and descriptions at theoretical levels.*

Key words: *Scientific metaphysics, theory construction, realism*

1. INTRODUCTION

Grand ideas held above the fray of empirical investigation can mess up objectivist aspirations. Worried about where the water that drowned Noah’s world had come from, the 17th century cosmogonist Thomas Burnet decided to figure out the total amount of water in the oceans and land². Finding the sum too small to sustain the Flood, he deduced that the missing water could only have come from the depths of Earth; our planet, he concluded, is mostly hollow. To Burnet, this exercise proved that the Flood was a natural possibility, and so that there could be harmony between the literally read *Book of Genesis* and the inferences of scientific investigation. Burnet looked for explanations that cohere with established truth, as scientists do. He was held in high intellectual esteem by his peers, including Isaac Newton. And yet, as critics might observe, what Burnet found in the world, what his investigation revealed as existing, was stuff imposed by his ideological and metaphysical assumptions (notably such claims as that God had not intervened in the world after creation, Noah’s Flood occurred exactly as the Bible says, and the Earth’s material composition had not changed since the planet’s formation). For more than a century hence natural theology prospered under similar guidance³. Among the foremost scientists likewise steered were Kepler, Galileo,

* Graduate Center CUNY & Queens College CUNY. City University of New York.

² Burnet (1684).

³ Even today, early forms of metaphysical meddling are apparent in projects fuelled by faith, much as in Burnet’s time. Influential cases include “Scientific Creationism” and “Intelligent Design”. See, in particular, Kitcher (2007).

Descartes and Newton. Some disciplines soon started to take precautions, however. By the 1830s, more than saving “established truth” would be expected of explanations in physics – additional epistemic virtues, particularly consilience and novel predictive Power – with encouraging results.

The point is this: although guided by metaphysics, theories nevertheless manage to contribute at least partial accounts and narratives that seem as “true” as anything in human life. (I use the term “true” here in the ordinary sense in which such claims as “Sao Paulo is geographically closer to Brasilia than Lima” and “cats generally have four legs” are concluded to be true in low level science). Examples of theories heavily guided by metaphysics include Descartes’ theory of collisions, Kepler’s planetary kinematics, classical thermodynamics, the 19th century theories of light, the 19th century debates concerning the origin of contemporary species, Einstein’s critique of classical mechanics, and numerous other cases. In some disciplines, it seems, metaphysical guidance has not fatally hindered epistemic progress at theoretical levels. One instructive case is that of the ether of light. Although rejected by leading thinkers as fiction in the 20th century, throughout the previous century its associated metaphysics led scientists to considerable theoretical findings about light. Particularly illuminating for present purposes is the metaphysical and epistemological reflections and revisions that took place in at the time of Hendrik A. Lorentz and Albert Einstein.

2. LORENTZ AND THE ETHER

It was once thought that, as with shadows, waves could not exist on their own; for a wave to be real something else had to be there too – a supporting medium. So, when it became clear that light consists of waves, good 19th century sense dictated that some “ether of light” should be assumed to be part of the package, a perceived necessity that would remain in place in some influential circles until well after Einstein’s 1905 paper on Special Relativity. One the ether’s most dedicated defenders was Hendrik A. Lorentz.

Like Fresnel before him, Lorentz expected motion relative to the ether to be experimentally determinable. But attempts to measure this motion had failed (among others, Michelson-Morley experiment of 1887). However, promising ideas to save the ether hypothesis were in the air. In 1889 an application by Oliver Heaviside of Maxwell’s theory to the magnetic potential of a body moving at speed (v) relative to the ether had revealed that the potential in question changes by a factor of $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$. First FitzGerald and subsequently (more quantitatively) Lorentz took this finding as a clue on how to reduce the tension between the elusive ether and the mentioned negative results, leading both thinkers to propose a hypothesis of length-contraction. According to the latter, motion relative to the ether changes molecular forces, making the length of bodies contract in the direction of motion by an estimated value $v^2/2c^2$. Efforts to turn the ether hypothesis consistent with experimental findings built on this background. Between 1892 and 1906 such efforts prominently included a “satisfactory” theory of the electron developed by Lorentz and Henri Poincaré using as pillars Fresnel’s theory of the ether, the Maxwell-Hertz equations, and the electron theory of Rudolf Clausius.

To Lorentz, the suggested length-contraction was a real effect of motion through the

ether. Realizing this effect's impact on time measurements, he advanced a notion of "local time" (t') and applied it to bodies moving in the ether, which Lorentz thought was totally immobile. For an observer moving with respect to the ether, he reasoned, the time locally noticeable to him was a function of the time variable (t) for a reference frame at rest in the ether and the observer's speed (v) relative to the latter: $t' = t - vx/c^2$. Lorentz used this idea to explain Fizeau's measurements of the Fresnel's drag coefficients for moving liquids, and such phenomena as light aberration and the Doppler Effect. In this Lorentz used a synchronization formula similar to the one Einstein would offer in his paper on Special Relativity. Subsequent applications of Lorentz's theory led to stimulating results; e.g. for the frequency of oscillating electrons he derived what we now call its "Lorentz transformation" between a reference frame at rest in the ether and a "moving" frame. According to Lorentz, however, the attending notion of time transformation in the context of relative motion was of heuristic value only; in his view, only clocks at rest in the ether showed "true time." Early in the new century, however, it became clear that Lorentz's local-time explained the negative results yielded by experiments designed to verify the ether drift, but only to first order in v/c ; other negative result experiments required modifications that included second-order effects. Lorentz (1904) responded to the challenge by proposing that all forces between the molecules are affected by the Lorentz transformation the same way as electrostatic forces. Here Lorentz generalized his earlier length-contraction thesis, proposing that the electrons themselves contracted, not just the forces between them, leading him to admit that the motion of the Earth relative to the ether should be "almost" untraceable. Some critics were quick to reject this paper, Max Abraham charging that Lorentz's contracted electron would be unstable unless non-electromagnetic forces were added to stabilize it, a possibility Abraham considered questionable. Halfway into 1905, however, Poincaré introduced one such component, a non-electromagnetic pressure that explained length-contraction and stabilized electrons ("Poincaré's stresses").

Poincaré, however, distrusted "intuitions" about temporal features. As he put it in *The Measure of Time*, published in 1898: "We do not have a direct intuition for simultaneity, just as little as for the equality of two periods. If we believe to have this intuition, it is an illusion. We helped ourselves with certain rules, which we usually use without giving us account over it" he wrote. According to Poincaré, "We choose these rules therefore, not because they are true, but because they are the most convenient, and we could summarize them while saying: 'The simultaneity of two events, or the order of their succession, the equality of two durations, are to be so defined that the enunciation of the natural laws may be as simple as possible'. In other words, all these rules, all these definitions are only the fruit of an unconscious opportunism" (Poincaré, 1898, p. 234).

Lorentz concurred with Poincaré and the principle of relativity, but only superficially. Again, much of Lorentz's theory found a place in Einstein's theory, but the metaphysical and epistemological underpinnings of the two theories are decidedly different. Einstein appreciated the epistemic importance of strongly linking the acceptance and rejection of hypotheses to their impact on experiment and observation. Unlike Einstein, Lorentz had had no problem postulating the existence of an undetectable posit.

As the quest for a better theory of light and electromagnetism moved on, analytical results and

empirical findings at odds with the foremost classical theories, cried for better foundational ideas. Theories that did not make any detectable difference grew increasingly suspect. Einstein's revision of the concepts of space and time started in the Special Theory was made more compelling by the General Theory of Relativity. Key pillars of the alleged higher overall coherence of Lorentz's theory lost credibility once the general theory freed the Special Theory of the problem posed by instantaneous gravitation. In doing so the theoretical articulation advanced by Einstein in 1905 improved in coherence, including the idea that the ether was a dispensable posit. Some years later Einstein would revisit this issue, but by then the notion of freeing waves and other modes of being from the grips of classical metaphysics was already in full flight.

In 1905, however, the metaphysical revisionism proposed by Einstein still had few (if any) supporters in the scientific establishment. To Lorentz, and nearly everyone else until at least the 1920s, the ether would remain an "indispensable posit." It is important to remember how and why this was so.

3. THE MOST IMPORTANT FEAT OF THE CENTURY

Here is how textbooks presented the ether at the end of the 19th century:

You can imagine particles of something, the thing whose motion constitutes light. This thing we call the luminiferous ether. That is the only substance we are confident of in dynamics. One thing we are sure of, and that is the reality and substantiality of the luminiferous ether. (Thomson, 1884, p.93)

There can no longer be any doubt that light waves consist of electric vibrations in the all-pervading ether, and that the latter possesses the properties of an insulator and a magnetic medium. (Helmholtz, 1899, p. xvi)

The Michelson-Morley and other experiments did not initially diminish belief in the existence of the ether. Confidence runs high in end-of-century reports on the "state of physics," respected commentators going out of their way to claim that physics cannot do without the ether:

[I am] practically certain that there must be a medium whose proper function is to transmit light waves. (Michelson, 1903, p. 159)

[...] what is known as the ethereal medium, at a first purely imaginary substance, but whose real existence is practically established. (Mendenhall, 1901, p. 1278)

[Regarding the ether] its discovery may well be looked upon the most important feat of our century. (Williams, 1900, p. 231)

Among the concepts which have come to stay in scientific thinking, that of the ether must now be included. ... It is as real as the concept of 'atom' or 'molecule' but hardly more so. (Thomson, 1903, p. 176)

[It is] a fact deduced by reasoning from experiment and observation ... There is abundant proof that it is not merely a convenient scientific fiction, but is as much an actuality as ordinary gross,

tangible, and ponderable substances. It is, so to speak, matter of a higher order, and occupies a rank in the hierarchy of created things which places it above the materials we can see and touch. (Fleming, 1902, p 192)

Loyalty to the ether remained strong for several decades hence. Consider this passage from 1919 in which Oliver Lodge asserts:

[...] the aether is needed for any clear conception of potential energy, for any explanation of elasticity, for any physical idea of the forces which unite and hold together the discrete particles of matter, whether by gravitation or cohesion or electric or magnetic attraction, as well as for any reasonable understanding of what is meant by the velocity of light.” [“Aether and Matter: being remarks on Inertia, and on Radiation, and on the Possible Structure of Atoms. (Lodge, 1919, p.17)

Lodge is more forceful still in this quote from a later speech, delivered in Edinburgh in 1921:

[...] an intelligent deep-sea fish would [not] disbelieve in water.... Such is our own condition in regard to the aether of space.” [...] “Let us grant, then, that the ether impinges on us only though our imagination; that does not mean that it is unreal. To me, it is the most real thing in the material universe [“Speech through the Aether. (Lodge, 1921, pp. 88-89)

Why this much allegiance to an undetectable posit? The above passages hint that more than success (empirical and explanatory) was at work. One source was background information. All other known waves were sustained by something – liquids, air, cords, solid rods; so, it seemed, waves “clearly” required a medium. Another source was the view then prevailing that to *understand* a physical system was to understand it *mechanically*. William Thomson expressed it well:

I can never satisfy myself until I can make a mechanical model of a thing. If I can make a mechanical model I can understand it. As long as I cannot make a mechanical model all the way through I cannot understand, and that is why I cannot get the electro-magnetic theory. I firmly believe in an electro-magnetic theory of light, and that when we understand electricity and magnetism and light, we shall see them together as parts of a whole. But I want to understand light as well as I can without introducing things that we understand even less. That is why I take plain dynamics. (Thomson, 1884/1987pp. 206)

At a yet deeper level, adding fuel to the considerations just highlighted, in physics there was a bit of Scholastic metaphysics that had been implanted in the 17th century, notably by Descartes, and remained entrenched until at least late in the 19th century. I am referring to a doctrine about beings in the universe having an ascending order of ontic independence, from inanimate matter, to plants, animals, humans, disembodied spirits, and God. In this doctrine, the lowest level of being is that of modes or accidents or states of finite substance – entities that depend for their existence on the reality of finite substance, as explained in *Meditations, III*. This matters because, until at least the 1920s, a wave was firmly regarded as a “mode of being” – i.e. something completely dependent for its being on something else existing simultaneously (the material substratum whose travelling perturbation the wave *was*). Placed at the lowest level of being, waves “required” a medium. One explanation for the long retention of the ether is therefore that, in the 19th century, the whole of theoretical physics rested on a metaphysical framework that made the ether “necessary.” The greatest physicists

of the century were excellent scientists, but they were not prepared to accept that “physical understanding” rested upon contingent principles, let alone bizarre ones (the way it does now in many disciplines). They were not quite “modern” in 20th century terms.

And so, in Fresnel’s theory (also in Maxwell’s) the predictions that “succeeded” had conceptual underpinnings and intellectual mortgages that could not be so easily removed without seriously denaturalizing the main project. Lorentz, in short, was a bastion of those underpinnings and mortgages. Around him, however, the scientific imagination was growing daring at the dawn of the 20th century. Central to the rejection of the ether was Einstein’s break from traditional presuppositions about the nature of light, space and time.

4. AGAINST EMPIRICALLY BARREN THEORIES

Einstein’s papers of 1905 embodied a bold take on fundamental questions, not least his view that the ether was an *unnecessary* posit. His rational motivations have been traced to several sources⁴, in particular the following (a) his studies of philosophy, especially Kant and then such empiricist interpreters of science as J. S. Mill, Karl Pearson, Richard Avenarius, and Ernest Mach; (b) a historically grounded suspicion towards theories that make no empirically discernible difference over previous theory; and (c) the methodological view on prediction encouraged at the *Zurich Polytechnic* (then Einstein’s school), particularly regarding the *epistemic* value of properly novel prediction. Each of these sources put red flags on the repeated resorting to special corrections by ether theorists to account for negative results like those of the Michelson-Morley’s experiment. Einstein may have paid little attention to the latter, but he was critical of the “ad hoc” character of Lorentz’s contraction hypothesis, which he regarded as a device invented solely to rescue the hypothesis of an immobile ether. To Einstein, having the ether as a fundamental posit in electrodynamics was not scientifically acceptable. A radical revision of Lorentz’s theory was in order, he reasoned. His counterproposal was to take Lorentz’s “local time” as simply “time.” The resulting modification gave Special Relativity its peculiar character.

Between 1910 and 1912 we find Einstein variously arguing that the principle of the constancy of speed of light together with the principle of relativity rendered the ether unnecessary. Recollecting on the period, Einstein said that the entire difference which the special theory made in the conception of the ether lay in that it divested the posit of “its last mechanical quality – *its immobility*” (Einstein, 1935/2007, p. 240). Initially, Einstein’s ideas about space, time and the ether enraged almost all the establishment physics. Soon, however, one of his former teachers at the Polytechnic, Hermann Minkowski, saw the possibilities of Special Relativity as a novel theory of space-time.

Einstein returned to the ether camp in the early 1920s, but what he then had in mind as ether was the space-time of General Relativity, not the electromagnetic field associated with light. His dream of unifying the two fields was there, but it never materialized. More relevant for present purposes, by this time the beast of metaphysical revisionism was already out. Adherence to traditional metaphysics about modes of being had become “optional,” also

⁴ See, for example, Galison (2003).

about space, time and matter. No substantial ideas would be regarded as unrevisable any more (contemporary fallibilism).

Loyalty to the ether of light gradually collapsed, although always with thinkers here and there lamenting that physics without the ether afforded no understanding at all⁵. To the vast majority of experts, however, the debate between Lorentz and Einstein concluded with a general rejection of *ad hoc* theories, not just Lorentz's. Not that the ether's existence was ever *logically* refuted (it could not be); *in principle*, someone might still save it. As W. V. O. Quine famously stated in 1951, "Any statement can be held true come what may, if we make drastic enough adjustments elsewhere in the system." (Quine, 1953, p. 43) But then, as Quine also noted, saving anything "come what may" can seriously damage the overall virtue of a theory.

The reviewed developments did not leave physics free of metaphysical ideas, only of taking too seriously conceptions presumed to be beyond the reach of science. So, what part of the scientific narrative can we take seriously? What theoretical knowledge does science contribute? Increasingly since the mid 19th century, the epistemological emphasis in science has been on theories that earn their colors in terms of novel prediction rather than just "explanation." But how much credibility can success bestow on a theory?

5. UNDERDETERMINATION AND THE LIMITS OF PREDICTIVE POWER

Two main factors constrain the epistemic significance of prediction: a theory normally displays problems of effective empirical underdetermination at certain levels, and successful prediction is a problematic marker of reliability, let alone "truth".

Underdetermination sets limits to what can be taken realistically in a theory. Consider, for example, classical mechanics. This most successful theory encompassed not one but many ontologies (Jones, 1991). In one ontology point-particles act upon each other at a distance; in another, action takes place only by contact, through a strictly local field; in a third ontology the motion of bodies is determined by total trajectories between spatial points; in yet another, post-Einsteinian formulation, space-time is both put at the center of the ontology and endowed with causal efficacy. What, then, can one take as putatively true from classical mechanics? A similar question can be raised about many other empirically successful theories. In Jones' view, the availability of multiple ontologies invites a pessimistic general conclusion beyond the case of classical mechanics: ontologies, he suggests, are doomed to fall prey to the ghost of empirical equivalence – physicists may hope to unveil the most *fundamental* ontology of the universe, but they will not succeed.

This may be so – a serious blow, to be sure, to positions seeking to link successful prediction to truth at theoretical levels. Not necessarily a fatal one, however, for several reasons. First, in most cases background knowledge helps grade ontological frameworks like the ones just highlighted (e.g. a field-based ontology for classical mechanics may be selected in light of the subsequent prevalence of field theories). Secondly, in the mentioned classical ontologies the different frameworks converge dramatically at *intermediate levels* of theoretical description, leaving no ambiguity about broad portions of the "classical picture".

⁵ This view still has supporters, particularly among thinkers dissatisfied with the explanations provided by standard quantum mechanics. An instance in point is Cushing (1994).

The latter include partial law-like relations, numerous ideas and structural features regarding ensembles of microscopic particles, the “nature” of heat and its laws, fluids, pressure waves, and so forth; and of course orbits (past and future, planetary, stellar and galactic) and their “laws” and local causal networks. The same is apparent concerning other theories. In Fresnel’s case, as many scientific realists have pointed out, despite his now discarded assumptions about the physical constitution of the stuff of light, Fresnel was correct about a great deal regarding its propagation and even its “nature” (understood in terms of networks of physical regularities rather than “essences”), while being seriously wrong about the need of an ether, let alone a mechanical one. Later in the story, Maxwell was right about much more regarding light, even though his theory also erred on some aspects. So, problems of underdetermination may give scientists little prospect of articulating anything like “*the* fundamental ontology of the world.” On the other hand, physics has already given us a rich picture of the world at “intermediate” theoretical levels. Underdetermination bites epistemologically into theories, but only so much.

If one emphasizes predictive power, then effective empirical underdetermination places a boundary to what is scientifically credible. What, then, is the epistemic yield of empirically successful theories? I have suggested that intermediate-level accounts and descriptions point to accumulations of trustworthy (if limited) theory-parts. Such parts, it seems, add up to increasingly better and deeper pictures of the intended domains, at least in some scientific disciplines.

However, given a successful theory, can one determine which parts describe their intended domain correctly and which do not? As said, successful prediction is not an unproblematic marker of reliability. Fresnel’s ether theory was outstandingly successful, yet it proved to be false. The theory’s first celebrated achievement was a prediction thought too bizarre to be true, the “Poisson’s spot.” Expected to devastate Fresnel’s proposal, this prediction crowned it instead. Other successful novel predictions cogently increased confidence in the existence of the ether. Further work by Fresnel showed convergence of theoretical results drawn from different starting points, adding circumstantial evidence in favor of the posit.

One century later the ether would be recognized as a fiction, however. According to some influential critics (e.g. Laudan 1981, Lyons 2002, Stanford 2006, Pashby 2012), this does not just establish the falsity of Fresnel’s theory but, given the latter’s remarkable success and the guiding role played in it by the ether posit, it also means that the project of interpreting theory-change in convergent realist terms must be rejected. As he and other critics of scientific realism argue, the historical record is littered with successful theories that ultimately proved to be seriously wrong. They are correct. One question before us is, therefore this: In light of the noted admissions, does anything in a successful theory yield “improved correspondences with some underlying pre-existing domain”? What truthful explanations and descriptions (as opposed to merely “metaphors”), if any, did Fresnel contribute at the theoretical level?

6. GRADING THEORY-PARTS

Taken as a unit discarded theories are false, no matter how successful they may have been

in their heyday. Broken into parts, however, theories look more promising. Theories with successful novel predictions seem to hand down some of their distinctive parts to subsequent theories, as gains in knowledge. But which parts are those – and what expectation is there regarding their truth?

Responding to Laudan's skeptical reading of history, an influential group of scientific realists argue that the seriously wrong claims that past successful theories licensed were not properly implicated in the predictions that once singled them out as successful. For example, according to these realists, (a) Fresnel profusely appealed to the ether but, he did not *need* to in order to derive his famous experimental predictions – for which the ether concept was “dispensable,” “idle” or worse; and (b) we can determine whether a theory-part was not needed by looking at the situation while the theory was in full flight. This “synchronic” realism about theory-parts was developed by Philip Kitcher (1993) and subsequently supplemented by Jarrett Leplin (1997) and by Stathis Psillos (1999). It has received critical attention in the last decade. Elsewhere (Cordero 2011), I have suggested why attempts at synchronic identification of sound theory-parts fail as a general strategy. Their failure leaves us in need of a criterion for selecting theory-parts and descriptions that we can take, not just as stable across theory change, but as epistemic gains too.

I think here the most promising advice comes from scientific practice. In the case of Fresnel's theory, reliable theory-parts and limited descriptions gradually gained recognition among practicing scientists. This happened through critical scrutiny along several overlapping fronts, each an independent source of confirmational import, five fronts in particular:

(1) Hostile probing by critics, as when Poisson searched Fresnel's theory for improbable implications, notably the famous spot that now bears his name.

(2) Probing of auxiliary assumptions, particularly by followers of the theory as they applied it. This is apparent in reactions by corpuscularian theorists to the double-slit experiment (they tried to revise their assumptions about the microscopic structure of the slits that gave rise to interference and diffraction).

(3) External explanation of assumptions of the theory, as when Maxwell derived the transverse character of light waves from his initially independent theory of electromagnetism.

(4) Identification of adequacy conditions for future theories, as when the laws of reflection and refraction gained recognition as something wave theories had to incorporate.

(5) Explanation of a theory's success from the vantage point of its successors, usually leading to recognition of accounts that the earlier theory got right and the particular condition under which these hold.

Similar unveilings of theory-parts can be found in the historical record. Instances in point include Descartes' mechanics of collisions, Kepler's planetary kinematics, Newtonian mechanics and gravitational theory, thermodynamics, classical statistical mechanics, quantum mechanics, 19th century chemistry, early Darwinian hypotheses about the origin of contemporary species, Einstein's photon theory, and geological histories, to mention a few in which the unveiled parts reach well beyond the “empirical level.” Realists need more than impressionistic historical backing, however, in order to present resilient theory retentions as epistemic gains. In particular, components thought stable must be shown to have a high likelihood of being *approximately true* (over and above their practical value for prediction and control purposes). For this we need a criterion for interpreting

commendable theory-parts realistically.

The noted five fronts suggest two complementary markers of epistemic strength for theory-parts; one draws from Lakatosian insight and the other from confirmation studies⁶. A theory-part P shows epistemic strength if:

(Marker 1): P is implicated in the empirical success of a given theory to such an extent that removing or changing P leads to empirical degeneration of the theory. This functions as a major confirmation booster in science, particularly for fundamental laws (e.g. Newton's law of gravitation became scientifically accepted long before a "mechanism" for it was credibly proposed). Unfortunately not all is quite well with this marker. Posits that satisfy it have led to disappointment (notably the ether). On the other hand, the retention rate for theory-parts highlighted by the marker seems high. For example, in the case of light theories, although there may be no ether, all subsequent theories include among their "putative truths" such claims as that light comprises waves, that the latter are transversal, that they correspond to electric and magnetic oscillations perpendicular to each other, that the speed of light is a function of the local electromagnetic environment, that the transmission of light and the latter's interaction with matter follows laws that contain a (restricted but still ample) structural core which has proved invariant to theory change, and so forth.

(Marker 2): P gains explanation from some *independently* well-established theory. This can be a weak marker, particularly in disciplines with relaxed empirical methodologies – recall, for example, Kepler's "Aristotelian" account of his 2nd Law, or Freud's thermodynamical elucidations for various assumptions in the theory of psychoanalysis.

By itself each of the above markers has troublesome weaknesses. Together, however, the two make for a tough criterion, more challenging than normal in scientific practice (where acceptance often draws from just one of the noted sources). Here, then, is a possible criterion for identifying theory-parts that are very likely truthful or untruthful:

Criterion: As a theory gains exposure to more and more of the five fronts previously outlined, theory-parts and restricted applications receive:

(C1) Negative warrant: A theory-part P will reveal itself as "doubtful" if multiple pieces of recalcitrant data provide refutational arrows that clearly go through P, *and* attempts to saving P consistently lead to degeneration of the whole system, as measured by current epistemological criteria.

(C2) Moderate positive warrant: A theory-part P will reveal itself as "probably true" if either (a) P is implicated in the theory's empirical success and removing or changing it leads to empirical degeneration, **or** (b) P has gained explanation from some independently well-established theory.

(C3) Strong positive warrant: A theory-part will reveal itself as "very probably true" if conditions (a) *and* (b) obtain jointly.

In the history that runs from from Fresnel to Lorentz, the theory-parts that (C2) and (C3) helped identify concern the causal and structural network, also the character, composition, and natural histories underpinning the phenomena the theory tried to explain. Criterion (C3) is particularly promising in that it seems to lack counterexamples from history.

⁶ See Balashov (1994) and Thagard (2007), respectively.

7. CONCLUSIONS

Arguably, the metaphysical background that guided theorizing from Fresnel to Lorentz turned out to be as off the mark as the background that more than a century earlier had guided Thomas Burnet's cosmogony. Unlike the latter, however, the theories of light discussed in this paper did not end in complete epistemic failure at the theoretical level. If the suggestions of the previous sections are correct, disciplines that condition theory-acceptance to corroborated novel predictive power generally produce theories in which chaff and grain are far more readily separated than in other endeavors. Scientists do not "find in the world" just what is implicit in the assumptions of their theories, and what they find often fails even the most successful proposals. However, if the point I have tried to argue for in this paper passes muster, then emphasis on successful novel prediction helps scientists discern in discarded theories parts that are very probably false and parts that are very probably true, independently of where they originated.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- BALASHOV, Yuri. Duhem, Quine, and the Multiplicity of Scientific Tests. *Philosophy of Science* **61**: 608-628, 1994.
- BURNET, Thomas. *Sacred Theory of the Earth*. Illinois / London: Printed by R. Norton, 1864.
- CORDERO, Alberto. Scientific Realism and the Divide et Impera Strategy: The Ether Saga Revisited. *Philosophy of Science* **78** (5): 1120-1130, 2011.
- CUSHING, James. *Quantum Mechanics: Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony*. Chicago: University Of Chicago Press, 1994.
- EINSTEIN, Albert. "Sidelights on Relativity". In Stephen Hawking (ed. and commentator) *A Stubbornly Persistent Illusion: The Essential Works of Albert Einstein*. Philadelphia (PA): Running Press, 1935/2007.
- FLEMING, John A. *Waves and Ripples in Water, Air, and Æther*. London: Society for Promoting Christian Knowledge, 1902.
- GALISON, Peter. *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps*. New York: W. W. Norton & Company, Inc., 2003.
- HELMHOLTZ, Hermann. Preface to Heinrich Hertz, *The Principles of Mechanics Presented in a New Form*. New York: Macmillan & Co.: p. xvi, 1899.
- JONES, Roger. Realism About What? *Philosophy of Science* (58): 185-202, 1991.
- KITCHER, Philip. *The Advancement of Science*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- . *Living with Darwin*. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- LAUDAN, Larry. A Confutation of Convergent Realism. *Philosophy of Science* **48**: 19-49, 1981.
- LEPLIN, Jarrett. *A Novel Defense of Scientific Realism*. New York: Oxford University Press, 1997.
- LODGE, Oliver. "Aether and Matter: Being remarks on Inertia, and on Radiation, and on the Possible Structure of Atoms," *Nature* **104**: 15-19, 1919.
- LODGE, Oliver. "Speech through the Aether," *Nature* (108, Sept 15, 1921): 88-89, 1921.
- LORENTZ, Hendrik. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light. *Proceedings Academy of Sciences* **6**: 809-831, Amsterdam, 1904.

- LYONS, Timothy D. "Scientific Realism and the Pessimistic Meta-modus Tollens." In *Recent Themes in the Philosophy of Science: Scientific Realism and Commonsense*, ed. Steve Clarke and Timothy D. Lyons. Dordrecht: Kluwer, 63–90, 2002
- MENDENHALL, T.C. *Progres in Physics, Nineteenh Century. Smithsonian Institution: 1276-1280, 1901.*
- MICHELSON, Albert A. *Light Waves and Their Uses*; Chicago: University of Chicago Press, 1903.
- PASHBY, Thomas. "Dirac's Prediction of the Positron: : A Case Study for the Current Scientific Realism Debate." *Perspectives on Science* 20 4: 440–75, 2012.
- POINCARÉ, Henri. The Measure of Time. Pp. 222-234, in: *The Foundations of Science (The Value of Science)*. New York: Science Press, 1998.
- PSILLOS, Stathis. *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*. Routledge: First Edition, 1999.
- QUINE, W. V. O. Two Dogmas of Empiricism. *The Philosophical Review* (60): 20-43, 1951.
- QUINE, Willard V. O. "Two Dogmas of Empiricism", in *From a Logical Point of View*. New York: Harperture Books, 1953.
- STANFORD, P. Kyle. *Exceeding Our Grasp: Science, History, and the Problem of Unconceived Alternatives*. Oxford: Oxford University Press, 2006.
- THAGARD, Paul. Coherence, Truth, and the Development of Scientific Knowledge. *Philosophy of Science* 74: 28-47, 2007.
- THOMSON, John A. *Progress of Science in the Century*. London & Edinburgh: W. & R. Chambers, 1903.
- THOMSON, William. "The Wave Theory of Light", *Nature* 31: 91-94, 1894.
- THOMSON, William. "Lectures on wave theory and molecular dynamics." In R. Kargon and P. Achinstein (eds.), *Kelvin's Baltimore Lectures and Modern Theoretical Physics*. Cambridge (MA): MIT Press, 1884/1987.
- WILLIAMS, Henry. S. *The Story of Nineteenth-century Science*. New York: Harper & Brothers, 1900.

RECONTEXTUALIZAÇÃO DIDÁTICA DO MODELO DE HUYGENS NA FÍSICA ESCOLAR

Ana Carolina Staub de Melo*
Frederico Firmo de Souza Cruz**

Resumo: O artigo apresenta o papel didático do modelo de Huygens proposto em seu Tratado da Luz de 1690. As reconstruções históricas do ‘Princípio de Huygens’, na física escolar, explicitam uma intencionalidade didática que dificulta uma aprendizagem efetiva dos conceitos físicos presentes nos fenômenos ondulatórios. Em particular, essa abordagem é insuficiente para problematizar os equívocos dos estudantes quanto ao papel do meio na propagação das ondas mecânicas e suas idéias confusas de superposição de ondas. Expomos, então, os possíveis potenciais didáticos do modelo de ondas mecânicas originalmente proposto por Huygens, para este fim.

Palavras-chave: contextualização histórica; modelo de Huygens; física escolar; transposição didática

DIDACTIC RECONTEXTUALIZATION OF THE MODEL OF HUYGENS FOR PHYSICAL EDUCATION

Abstract: This article presents the didactic role of Huygens’ original model outlined in his Treatise of Light (1690). The historical reconstructions of the ‘Huygens’ Principle’, as seen in traditional scholar physics, explicit a didactic intention which hinders the effective learning of the physical concepts presented in wave phenomena. In particular, that approach fails to problematize students’ misconceptions about the roles of the environment in the propagation of mechanical waves as well as their confused ideas on waves’ superposition. Considering this, we present the didactic potentials of the mechanical waves model originally proposed by Huygens as a research original contribution.

Key-words: historical context; Huygens’ model; physics education; didactic transposition

1. DISTORÇÃO HISTÓRICA DO MODELO DE HUYGENS NO CONTEXTO DIDÁTICO

* Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil - Campus Joinville. Rua Pavão, 1337, Bairro Costa e Silva - Joinville - Santa Catarina – Brasil. CEP 89220-200 (47)3431-5600. Email: anacarolina2512@yahoo.com.br

** Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade - Florianópolis - Santa Catarina – Brasil. CEP: 88040-970. Email: fred@fsc.ufsc.br; fredfirmo@gmail.com

Na física escolar, as contribuições científicas de Christiaan Huygens, no século XVII, expressam um exemplo de reconstrução didática dos fatos históricos. Esta abordagem resignifica as idéias deste cientista em termos de uma interpretação ondulatória atual. Ao 'Princípio de Huygens' agrega-se a idéia de superposição de ondas, em um modelo de ondas periódicas, por oposição à versão originalmente proposta por Huygens em seu *Tratado da Luz* de 1690 (Melo, 2010; Melo & Souza Cruz, 2009; Silva, 2007; Krapas, 2007; Crew, 1900). De fato, o real pensamento de Huygens expõe uma concepção essencialmente mecânica das ondas. Caracterizada por ondas não periódicas e que não apresentam interferência construtiva ou destrutiva, mas fundamentada em uma sólida interpretação do mecanismo de propagação das ondas (Huygens, 1986). A visão ondulatória associada a Huygens, no ensino de física, se assemelha, em larga medida, ao modelo de Fresnel, em virtude da ênfase dada aos elementos de periodicidade e por pressupor interferência das ondas, conforme o sentido proposto por Young (Hakfoort, 1995; Crew, 1900).

O exemplo de reconstrução histórica do modelo de Huygens, no contexto educativo, expõe uma realidade criticada de modo intenso pela literatura especializada. Traduz, por assim dizer, as 'distorções' históricas quando, por vezes, se evidencia a presença da contextualização histórica na física escolar. As resignificações históricas que, presentes na física escolar, apresentam sucessivos equívocos ou mesmo extensas lacunas são objeto de oposição no contexto de pesquisadores em educação científica (Allchin, 2004; Whittaker, 1979a; 1979b; Martins, 1998a; 1998b; Melo & Souza Cruz, 2008; Pagliarini, 2007).

Pesquisadores que exploram o uso didático da abordagem histórica, do mesmo modo que historiadores da ciência, sugerem uma diligência constante face às lacunas e reinterpretções incorretas, de fato abusivas, de episódios históricos com fins didáticos. Consideram que, em larga medida, tais "deformações" históricas podem se caracterizar ingênuas, consequência do desconhecimento por parte de professores e autores de manuais. Contudo, podem também se configurar, suficientemente conscientes, buscando transmitir uma ideologia, como, por exemplo, o gênero historiográfico *whiggismo*. Este gênero surge como ideal de um partido político britânico que acomodava a história aos seus próprios interesses. A extensão dessa perspectiva à história da ciência exprime-se na primazia dedicada às teorias e episódios históricos pertinentes à ciência atual (Baldinato & Porto, 2007; Pereira & Amador, 2007; Martins, 2006a; 2006b; Allchin, 2004; Gil-Pérez, 2001; Matthews, 1995; Whittaker, 1979a; 1979b).

Por outro lado, não se pode desconsiderar que, de fato, há uma tradição escolar, com concepções sobre 'o que' e 'como' ensinar e, portanto, romper com essa visão histórica de transposição e contrato didático requer superar desafios que não se encerram nas dificuldades inerentes aos temas de ensino. Requer romper com concepções históricas de educação, fortemente enraizadas ao contexto educacional (Ricardo et al., 2003).

Na abordagem do 'Princípio de Huygens', por exemplo, a intencionalidade didática tradicional, busca apresentar mais rapidamente uma formulação atual do Princípio. Interpretado como um modelo geométrico para explorar os fenômenos ondulatórios. Por isso, com frequência, as ideias originalmente propostas por Huygens são reconstruídas em termos do presente (Melo & Souza Cruz, 2009). Em artigo anterior pesquisamos a possível intenção didática das reconstruções históricas do 'Princípio de Huygens' em textos didáticos do ensino

superior (Melo & Cruz; 2009). A análise dos textos didáticos explicitou porque, muitas vezes, o ‘Princípio de Huygens’ é explorado em termos atuais no contexto didático. Ao modelo de Huygens se agrega as contribuições de Fresnel, assumindo um papel estritamente instrumental-matemático. Neste caso, o objetivo é de apresentá-lo como um método formal para tratar fenômenos como difração e interferência, assim como o tratamento ondulatório da reflexão e refração. Em termos históricos, alguns textos didáticos não ocultam a reconstrução do princípio de Huygens, contudo, consideram natural diante da intencionalidade didática explicitada. Neste artigo destacamos a fragilidade da distorção histórica do modelo de Huygens para uma aprendizagem efetiva dos conceitos físicos presentes nos fenômenos ondulatórios. Em particular, porque essa abordagem é insuficiente para problematizar os equívocos dos estudantes quanto ao papel do meio na propagação das ondas mecânicas e suas idéias confusas de superposição de ondas. Expomos, então, os possíveis potenciais didáticos do modelo de ondas mecânicas originalmente proposto por Huygens para este fim. Contudo, os estudantes apresentam conhecimentos bastante equivocados sobre o papel do meio e da fonte na propagação das ondas, além de confusões sobre a idéia de superposição de ondas (Wittmann et al., 1999; Tarantino, 2004). Neste sentido, explorar o mecanismo de propagação das ondas, do mesmo modo que o mecanismo de restauração do meio e o papel da fonte geradora de ondas, junto ao modelo genuíno de Huygens, apresentaria contribuições didáticas significativas.

A evolução conceitual das ondas mecânicas, tendo como gênese o de Huygens, em direção a modelos mais abstratos como os do presente, expõe o estudante diante do processo de conceitualização do real. Do mesmo modo que do movimento de abstração de um conceito como o de ondas. Por contraste à intenção didática frequente dos livros escolares, que simplesmente apresentam as sínteses científicas, ou seja, o modelo abstrato em sua forma final. Com base nisso, o presente artigo apresenta o papel didático do modelo genuíno de Huygens delineado em seu *Tratado sobre a Luz* de 1690. As reconstruções históricas do ‘Princípio de Huygens’, na física escolar, explicitam uma intencionalidade didática que dificulta uma aprendizagem efetiva dos conceitos físicos presentes nos fenômenos ondulatórios. Em particular, porque essa abordagem é insuficiente para problematizar os equívocos dos estudantes quanto ao papel do meio na propagação das ondas mecânicas e suas idéias confusas de superposição de ondas. Expomos, então, os possíveis potenciais didáticos do modelo de ondas mecânicas originalmente proposto por Huygens.

2. INTENCIONALIDADE DIDÁTICA DA RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO MODELO DE HUYGENS NA FÍSICA ESCOLAR: OBSTÁCULOS À CONCEITUALIZAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS

A distorção histórica do ‘Princípio de Huygens’, que o ressignifica em termos da ondulatória atual, está presente em muitos livros textos e, de certa forma, é uma distorção, ela mesma, histórica. É que ela já havia sido apontada no prefácio do livro *The wave theory of light: Memoirs by Huygens, Young and Fresnel*, de Henry Crew, editado na coletânea de *Scientific Memoirs*, dirigida por J. S. Ames e publicado pela American Book Company em 1900. Neste prefácio, Henry Crew cita o trabalho do Professor Schuster - “Philosophical Magazine”, vol

XXXi, p. 77 de 1891 - que enfatiza que atribuir a Huyghens a idéia de dividir a frente de onda numa série de Zonas (no sentido de franjas de difração) não é apenas injusto como também errôneo. Segundo Crew, este erro estava presente em praticamente todos os livros textos da época e a primeira menção das Zonas de Huyghens como Zonas de Fresnel (que agrega a idéia de superposição de ondas proposta por Young) estaria na página 111 desse volume do *Scientific Memoirs*. É interessante observar que para se chegar à forma atual do Princípio, as perguntas e questionamentos na óptica de então eram relacionados com a existência dos raios, de franjas de difração, de polarização e de aberração. Idéias que simplesmente não apresentam contrapartida no “Tratado de Huygens”. Fresnel que, em busca de uma explicação matemática para os raios e a difração, reinventa o princípio de Huygens, dando-lhe um significado físico diferente ao incorporar a superposição que havia sido introduzida por Young.

No entanto, estudantes em fases iniciais de cursos de Física, como explicitados nos artigos “Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves” (Wittmann et al., 1999) e “Elastic Waves: mental models and teaching/learning sequences” (Tarantino, 2004) apresentam conhecimentos bastante equivocados sobre o tema ondas mecânicas. Os estudantes apresentam idéias confusas sobre o papel do meio e da fonte no contexto das ondas mecânicas. Julgam equivocadamente que a velocidade das ondas mecânicas é determinada pela fonte de emissão e não pelas propriedades elásticas do meio. Imaginam que a força exercida pela mão em uma corda, por exemplo, determina a velocidade de propagação da onda. Acreditam que o meio oferece resistência à propagação das ondas, do mesmo modo que ofereceria ao movimento de uma partícula. Logo, concluem que em meios mais densos as ondas mecânicas se propagam com velocidade menor. Por fim, os estudantes não apresentam nenhuma noção de como o meio se comporta ao ser perturbado. Fica explícita a ausência da idéia do mecanismo de vibração do meio ao propagar o distúrbio, já que escrevem que as partículas do meio em alguns casos avançam timidamente, mas em outros se mantêm estáticas. Outra lacuna explicitada se refere à ausência de uma idéia adequada de superposição de ondas. Modelos equivocados da superposição de ondas são observados em decorrência de analogias incorretas com colisões mecânicas.

A descaracterização histórica do ‘Princípio de Huygens’ suprime a discussão sobre o papel do meio na propagação de uma onda mecânica. E este tema está presente com ênfase em seu *Tratado sobre a Luz* originalmente proposto e é central nas dificuldades dos estudantes em termos da ondulatória. A presença de idéias errôneas dos fenômenos ondulatórios entre estudantes de cursos de Física evidencia a pertinência de explorar este tema com mais expressividade no contexto educativo. Justificando também a importância de buscar abordagens sensíveis às dificuldades dos estudantes e que superem a exposição estanque desses conceitos físicos.

3. INTENCIONALIDADE DIDÁTICA DA CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA NA FÍSICA ESCOLAR: RUPTURA COM A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA TRADICIONAL

A transposição didática tradicional (Chevallard, 2005), ao descontextualizar,

despersonalizar e dessincretizar, de modo dogmático os conceitos científicos, mascara o contexto da descoberta e a conceitualização histórica dos modelos científicos. Transforma, a evolução histórica dos modelos científicos, caracterizada pela significação e resignificação dos conceitos, em definições meramente (Vergnaud, 1990, p. 146).

Esse modelo de transposição didática, com ênfase à textualização de conceitos formalizados, das sínteses científicas, repercute diretamente no tipo de contrato didático que se estabelece em sala de aula (Astolfi, 2002; 1997). Em geral, a sequência didática desse modelo de ensino segue uma longa exposição de definições, classificações (conceitos), fórmulas (representações simbólicas) e algoritmos para resolução de problemas padrão. Com isso, pouco estimula a criatividade e crítica dos alunos. Apresenta também, situações científicas de consenso, do mesmo modo que problemas objetivos que resultam em uma única resposta pré-determinada (Develay; 1987; Ricardo et al.; 2003, p. 9). Assim, mecaniza as ações (esquemas mecânicos) dos estudantes em sala de aula ao esvaziar a sua significação.

Se aos estudantes são apresentados problemas padrão, basta memorizar e, não significar, os 'esquemas' mobilizados para enfrentamento das situações didáticas. Como as situações didáticas são sempre as mesmas, o processo de conceitualização se torna um exercício de memorização, de natureza mecânica e repetitiva, já que, em geral, não há transferência para outras situações (Vergnaud, 1990, p. 135; 1994, p. 54).

Assim, é possível que, o eventual 'sucesso' dos estudantes nessa tradição de ensino, mascare, na verdade, um engessamento (doutrinação) em um processo educativo conservador (Ricardo, 2003, p. 3). De fato, se o contrato didático se baseia em uma racionalidade constante, talvez seja uma interpretação falsa o 'sucesso' escolar apresentado por alguns estudantes. Pois é perfeitamente possível que a automatização das atividades propostas, do mesmo modo que a mecanização dos esquemas cognitivos implícitos na conceitualização, retrate o 'sucesso' desses alunos. No entanto, 'descobrir' as 'regras do jogo', implícitas no contrato didático, com faces históricas bastante conservadoras (estável) na realidade escolar atual, não isenta o estudante de possíveis riscos, como insucessos e/ou fracassos escolares. Justamente por estar habituado a um tipo de formação escolar é pouco provável que em outros contextos, que exijam esquemas de enfrentamento/superação, de natureza distinta aos naturalizados na educação científica, o estudante seja bem sucedido.

Por essas questões que Vergnaud (1990), por exemplo, defende que a aprendizagem significativa se dá em um movimento de conceitualização do real. O movimento de conceitualização do real é um movimento contínuo e gradativo de significação e resignificação de conceitos. Por outro lado, enfatiza também que os conceitos não se significam isoladamente: um conceito não se forma em um só tipo de situação. Em contrapartida, um conceito se significa continuamente diante de novos problemas, novas situações, remodelando-se e reconstruindo-se. Portanto, a conceitualização é sempre 'porvir', parcial, em construção. Em sintonia com as idéias de Vergnaud (1990), pesquisadores que exploram o tema modelos e modelizações na educação científica, como Hestenes (1996); Kaper & Goedhart (2002) e Vosniadou (1994), expressam o papel imprescindível da diversificação das situações na conceitualização, uma vez que possibilita aos estudantes testar, remodelar, reconstruir e/ou aperfeiçoar seus modelos explicativos. Do mesmo modo, em um sentido inverso, as situações devem ser exploradas por diversos conceitos.

Uma abordagem contextual da ciência, que resgata a conceitualização de modelos científicos, pode contribuir como uma alternativa pedagógica para aquisição efetiva dos conceitos científicos. Logo, a *intencionalidade didática* da abordagem histórica, defendida no presente artigo, busca colocar o estudante diante das situações históricas de conceitualização científica. Discutem-se, a seguir, os conceitos principais abordados por Huygens em seu *Tratado da Luz*, para então apresentar os potenciais didáticos do modelo de Huygens para este fim.

4. UM BREVE HISTÓRICO – TRATADO DA LUZ PROPOSTO POR HUYGENS

Huygens apresenta seu *Tratado sobre a Luz* em 1678 à Academia Real de Ciências da França e em 1690 publica-o. Propõe em seu *Tratado* um modelo ondulatório da luz. Para isso discute sua imagem mecânica da natureza; a ausência da idéia e interferência de ondas; a interpretação conferida à opacidade e transparência dos corpos; a analogia com o som e, neste contexto, a constância e a velocidade finita da luz, frentes de onda, propagação a grandes distâncias; ondas esféricas de luz e; por fim, a velocidade da luz na matéria.

O contexto de elaboração do modelo ondulatório de Huygens para a natureza da luz é caracterizado pelo mecanicismo cartesiano. Em sua obra, Huygens recorre constantemente a análogos mecânicos para delinear seu modelo de luz.

Na imagem cartesiana da natureza não há forças atuando a distância, Descartes acredita em um modelo onde a matéria só pode interagir mediante colisões. Nega a existência do vazio, enfatizando a crença em um mundo completamente preenchido por partículas materiais sutis, conhecidas como éter. Caracterizado por uma visão mecânica da natureza, o modelo de ondas proposto por Huygens para a natureza da luz é intrinsecamente definido por colisões mecânicas. Em sintonia com Descartes, acredita que as “forças”¹ deveriam ser transmitidas por algo material, como o éter, por exemplo. No modelo de Huygens é ausente o conceito de interferência de ondas. Esse fato, para Huygens, é uma evidência da natureza ondulatória da luz. Afirmar que, o fato de os raios de luz se cruzarem sem se espalharem ou “se atrapalharem” não pode resultar do “transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala [que] atravessa o ar [...]” (Huygens, 1986, p. 12). Continua, afirmando que:

[...] não há dúvida de que a luz [assim como o som] também venha do corpo luminoso até nós por algum movimento impresso à matéria que está entre os dois – pois já vimos que isso não pode ocorrer pelo transporte de um corpo que passe de um até outro. Se a luz gasta tempo para essa passagem [...] seguir-se-á que esse movimento impresso à matéria é sucessivo e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por superfícies e por ondas esféricas. Eu as chamo de ‘ondas’ por semelhança àquelas que vemos formarem-se na água quando aí se joga uma pedra e que representam uma propagação sucessiva circular – embora proveniente de uma outra causa e somente em uma superfície plana. (Huygens, 1986, p. 12)

No modelo da natureza da luz elaborado por Huygens inexistente a idéia de superposição de

¹ Neste contexto histórico não há um significado físico consensual para a ideia de força e energia que, com frequência, são tratadas como sinônimos pelos cientistas da época.

ondas, conforme sentido atual. Contudo, propõe o conceito de frentes de onda ao afirmar que uma infinidade de ondas, embora provenientes de diferentes pontos do corpo, unem-se de modo a comportar-se como uma única onda. Cada ponto localizado na frente de onda se comporta como uma fonte pontual de emissão de novas ondas esféricas, que ao se somarem O princípio das frentes de onda é a base do modelo de Huygens para a luz, pois explica várias propriedades da luz, como a reflexão e a refração. A síntese de Silva (2007, p. 154) exprime com clareza o modelo de frentes de onda proposto por Huygens em seu *Tratado sobre a Luz*:

Seja A um ponto luminoso. Cada corpúsculo atingido pela perturbação terá sua onda particular, da qual ele é o centro. Assim, a frente de onda, no ponto mais distante de A, é resultante da contribuição de cada uma dessas ondas e da onda principal proveniente do centro luminoso.

Conforme apresenta a figura 1.

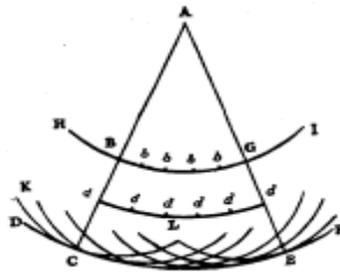


Fig. 1. Modelo frentes de onda proposto por Huygens (Huygens, 1986, p. 22).

Huygens analisa a origem das ondas e propõe que cada ponto luminoso gera ondas das quais esse ponto caracteriza-se como um centro de emissão. A imagem esboçada por Huygens (Figura 2) de círculos concêntricos descritos em torno de cada um desses pontos representa as ondas que deles provêm. Contudo, destaca que “[...] as percussões nos centros dessas ondas não possuem uma sequência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais”. Logo, torna-se pertinente observar que o modelo proposto por Huygens não pressupõe ondas periódicas, a imagem formada se assemelha a pulsos independentes, como mostra a figura 2.



Fig. 2. Origem das Ondas por pulsos independentes conforme modelo de Huygens (Huygens, 1986, pp. 20-21)

A visão ondulatória da luz proposta por Huygens é bem distinta da presente na física escolar. Os elementos de periodicidade que definem uma onda, essenciais na conceitualização moderna de superposição de ondas são contribuições do modelo de Young e Fresnel. Huygens pensa em ondas não periódicas e que não apresentam interferência construtiva ou destrutiva (Huygens, 1986). Propõe uma concepção essencialmente mecânica das ondas, caracterizada pela ausência de forças e superposição, mas fundamentada em uma sólida compreensão do mecanismo de propagação das ondas (Silva, 2007; Krapas, 2007).

Na física escolar, as contribuições científicas de Huygens, com frequência, estão associadas a uma interpretação atual que resignifica e distorce o real pensamento deste cientista. O contexto científico do século XVII priorizava a construção de modelos mecânicos como base para as explicações científicas. Neste contexto, não há referência alguma a conceitos recentes como ação à distância, campo eletromagnético e outras interpretações contemporâneas que contribuem para delinear o modelo ondulatório da luz, como concebido hoje – que diverge da teoria idealizada por Huygens. Não há referência nem mesmo às características elementares das ondas, como amplitude de vibração, frequência, período ou comprimento de onda, afastando-o de uma possível articulação ao contexto científico da ondulatória moderna.

No presente artigo, defendemos que a recontextualização do modelo de Huygens, no contexto didático, apresente a história da ciência como um exemplo de conceitualização científica. Nesse sentido, o real contexto histórico do modelo de ondas mecânicas, delineado por Huygens, em seu *Tratado sobre a Luz* de 1690, precisa ser resgatado! Com essa intencionalidade didática defendemos a extensão de episódios históricos para a física escolar, como uma alternativa de apresentar a formação histórica de conceitos na ciência. Para, assim, explorar os modelos científicos como um processo de contínua significação e resignificação histórica de conceitos. Cabe destacar que o presente artigo não tem a intenção de apresentar uma sequência didática ‘passo a passo’ para abordar o modelo de Huygens na física escolar. Mas tem como objetivo explorar os potenciais didáticos deste contexto histórico, discutindo como é possível sua incursão no ensino de física.

Na sequência, apresentamos os potenciais didáticos do modelo de Huygens, destacando o papel do meio e da fonte na interpretação ondulatória de Huygens e a ausência da idéia de interferência neste modelo ondulatório. Essas dimensões do modelo de Huygens podem contribuir para problematizar as dificuldades apresentadas pelos estudantes quanto ao papel do meio e da fonte na propagação de ondas mecânicas, do mesmo modo que o princípio de superposição de ondas.

5. O PAPEL DO MEIO NA INTERPRETAÇÃO ONDULATÓRIA DE HUYGENS: MECANISMO DE RESTAURAÇÃO

No que se refere à forma de propagação, Huygens enfatiza que o som em função de sua natureza pode ser comprimido com facilidade e, à medida que reduz seu volume apresenta uma tendência a expandir-se. Logo, a causa da propagação das ondas do som compreende o esforço de expansão desses pequenos corpos que se entrecrocaram, quando estão mais próximos nos círculos das ondas (Huygens, 1986, p. 18). Huygens tinha clareza, com base nos conhecimentos que dispunha na época, que no caso do som tem-se um efeito combinado de sucessivas compressões e rarefações responsáveis por transferir energia entre as moléculas

do ar, produzindo ondas longitudinais, nas quais as moléculas do ar se movimentam para frente e para trás recebendo energia das moléculas mais próximas da fonte e transmitindo-a para as moléculas mais afastadas dela.

É possível enfatizar que o significado físico de elasticidade atribuído ao éter no modelo de ondas mecânicas proposto por Huygens sugere semelhança com a interpretação de elasticidade do ar presente no contexto de propagação das ondas sonoras. O mecanismo de restauração de equilíbrio do ar não pressupõe a idéia de força restauradora. As moléculas de um gás estão separadas a ponto de comportarem-se de modo independente. Nesse sentido, um gás pode ser imaginado como um sistema de partículas livres caracterizado pela ausência de forças. Para efeitos de análise, o ar pode ser considerado como um gás perfeito, ideal, nestas condições, os choques entre as moléculas evidenciam-se praticamente elásticos, sem perdas apreciáveis na energia cinética. Em termos gerais, o sistema, definido pelo ar, em equilíbrio, reage diante de uma perturbação, ao ser comprimido e, opõe-se à variação de pressão (flutuação de densidade) retornando ao estado inicial caracterizado pelo equilíbrio de pressão². A elasticidade do ar caracteriza-se por esta 'facilidade' de movimentar-se, de 'restituir o equilíbrio', opondo-se à flutuação de densidade provocada pela perturbação. Esta síntese torna-se pertinente no contexto da pesquisa, no caso do éter, para explicar a propagação das ondas mecânicas de luz, a idéia de elasticidade, semelhante à conferida ao ar, parece estar presente na interpretação de Huygens:

[...] a elasticidade consiste no movimento muito rápido de uma matéria sutil... Isto está de acordo com a razão que Descartes fornece para a elasticidade [...] há muitos corpos que possuem essa propriedade [o ar, por exemplo]; e, assim, nada há de estranho em supô-la também em pequenos corpos invisíveis como os do éter. Se tentássemos encontrar alguma outra maneira pela qual o movimento da luz se comunicasse sucessivamente, não seria encontrada nenhuma que melhor conviesse do que a elasticidade à propagação uniforme [...] supondo a elasticidade na matéria etérea, suas partículas terão a propriedade de restituir-se igualmente depressa, seja quando forem empurradas fortemente ou fracamente. Assim o progresso da luz continuará sempre com uma velocidade igual. (Huygens, 1986, p. 19)

Huygens enfatiza que em virtude da extrema velocidade da luz e outras propriedades especiais que ela apresenta não é possível interpretar sua propagação de maneira similar à do som. Contudo, é possível evidenciar claramente a semelhança dos modelos mecânicos associados à propagação do som no ar, conforme explicitado acima, e aquele articulado à propagação da luz, conforme segue, inclusive a recorrência a colisões mecânicas elásticas no modelo de Huygens remetem a esse paralelo.

A possível extensão entre os dois modelos mecânicos apresenta um recurso didático pertinente para o ensino de física, particularmente porque além de propiciar um estudo da propagação de uma onda mecânica no ar, possibilita um contraponto com a propagação de uma onda em um sólido, por exemplo, onde o mecanismo de restauração apresenta-se em termos de forças, ao contrário de um gás, onde as forças são nulas e, nesse sentido,

² Essa característica de o ar escoar espontaneamente das pressões mais altas para mais baixas ilustra uma tendência ao equilíbrio de pressão concebida na Segunda Lei da Termodinâmica que explicita a ideia de que quando abandonamos um sistema ele tende espontaneamente ao equilíbrio com sua vizinhança.

apresenta-se em termos de equilíbrio de pressão. Com fins didáticos essa distinção é fundamental para explorar a propagação de ondas sonoras no ar e em sólidos que, em geral, são abordados como análogos por ambos articularem a noção de forças restauradoras. No entanto, a questão da elasticidade nos dois casos são distintos, no primeiro a elasticidade está associada a questão da equalização de pressão, e no segundo caso em termos de forças elásticas, explicitando a natureza distinta dos mecanismo de restauração. Por isso a natureza da elasticidade em sólidos e nos gases apresenta variação, embora esse contraste não seja abordado de forma clara no contexto de ensino.

É possível também emergir, no contexto do ‘Tratado de Huygens’, a discussão sobre a dependência da velocidade da onda em termos do meio. Quando Huygens discute a transparência dos corpos, no contexto da refração, admite que “as ondas de luz se propagam na matéria etérea que ocupa continuamente os interstícios ou poros dos corpos transparentes”(Huygens, 1986, p.31). Para Huygens, um corpo mais denso significa uma densidade menor de éter (meio que propaga a onda) ocupando o espaço (interstícios ou poros) que se entremeia às partículas de matéria que o compõem. Neste caso, “[...] pode-se crer que o progresso das ondas deve ser um pouco mais lento dentro dos corpos, por causa dos pequenos desvios causados por essas mesmas partículas [as partículas de matéria que compõem o corpo]. Mostrarei que a causa da refração consiste nessa diferente velocidade da luz (Huygens, 1986, p. 31)”. Em Huygens já está presente a idéia de que o meio é que determina a velocidade de propagação da onda mecânica, o que torna possível explorar com os alunos o papel do meio em termos da velocidade de propagação de uma onda mecânica. As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar e o fazem através de pequenas oscilações das partículas que o constituem. Quanto mais denso o meio [que propaga a onda] maior será a velocidade de propagação da onda sonora. No caso de Huygens o meio é o éter. Então quanto maior a densidade de éter mais facilmente a onda mecânica se propagará. Quanto menor a densidade de éter, com mais dificuldade será a propagação da onda mecânica. Essa análise pode ser extrapolada para qualquer meio, seja o ar, um líquido ou um sólido. Embora as partículas do meio oscilem, transmitindo a vibração, elas não se deslocam acompanhando a propagação da onda.

Diante das dificuldades dos estudantes sobre o papel do meio e da fonte de emissão na propagação de uma onda mecânica, essa discussão presente no Tratado de Huygens apresenta expressivos potenciais didáticos para se abordar na física escolar.

6. AUSÊNCIA DA IDÉIA DE INTERFERÊNCIA NO MODELO DE HUYGENS

O problema que despertou interesse de Huygens no contexto da natureza da luz “Por que os raios de luz se cruzam sem, em nada atrapalhar uns aos outros?” pode se caracterizar como um problema de ensino que, se devidamente discutido possibilita um estudo detalhado do modelo de superposição de ondas. Com frequência, os livros didáticos abordam no contexto da óptica geométrica o fato de os raios de luz se cruzarem sem que um perturbe o outro como uma propriedade da luz e, por outro lado, quando abordam a óptica física, de forma quase mágica, a luz passa a sofrer interferência, não há um diálogo entre estas duas dimensões da óptica, fato que pode se configurar fonte de confusão e equívocos entre os

estudantes.

Na interpretação de Huygens, é natural pensar que as ondas se cruzam sem confusão, sem destruir umas às outras. Um exemplo simples, relativamente comum, que corrobora a idéia de Huygens, refere-se a dois feixes luminosos emitidos por duas lâmpadas, sobrepondo-se um ao outro em um anteparo. De fato, não é possível evidenciar regiões claras e escuras, fruto de superposição das ondas, não há interferência. Contudo, a história da natureza da luz, ilustra mais um exemplo símbolo das sutilezas presentes na natureza e ensina a desconfiar do real sensível, abstrair para mergulhar na essência da natureza da luz.

A ausência da visão de periodicidade das ondas configura-se um obstáculo para a idéia de interferência, imprescindível para uma compreensão da natureza da luz. No exemplo explorado a luz não sofre interferência, pois as fontes não apresentam mesma fase ou uma diferença de fase constante, as ondas luminosas emitidas estão vibrando fora de fase (não apresentam uma frequência de vibração constante).

Huygens enfatiza a inexistência de interferência de ondas, de acordo com o sentido atual da superposição de ondas. Em seu modelo da natureza da luz, supõe que uma partícula de matéria pode receber diversas ondas, sucessivas ou simultâneas, provenientes de diferentes direções e inclusive sentidos contrários sem que se aniquilem, este fato é explicado recorrendo novamente à analogia com choques mecânicos, analogia com o hoje conhecido 'berço de Newton'. Este exemplo propicia um terreno fértil para discutir com os estudantes a superposição de ondas e a insuficiência de um modelo mecânico, com o de Huygens, para explorar o mecanismo de interferência das ondas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intencionalidade didática da distorção histórica presente no caso do 'Princípio de Huygens', nos textos escolares analisados, busca abordar mais rapidamente a síntese científica, ou seja, o modelo atual de ondas. Nestes termos, o modelo de Huygens converte-se em um mero instrumento-matemático para tratar os fenômenos ondulatórios. Contudo, a descaracterização histórica do 'Princípio de Huygens' suprime a discussão sobre o papel do meio na propagação de uma onda mecânica, tema presente com ênfase em seu 'Tratado da Luz' originalmente proposto e, central nas dificuldades dos estudantes em termos da ondulatória. Nesse sentido, a intenção didática priorizada pelos textos analisados apresenta-se insuficiente, em termos conceituais, tendo em vista uma abordagem didática significativa das ondas mecânicas.

Imaginar os fenômenos ondulatórios como colisões mecânicas, conforme Huygens delinea em seu *Tratado sobre a Luz* possibilita uma significativa interpretação do mecanismo de restauração de equilíbrio do meio. Pertinente para explorar ondas mecânicas em um sentido atual. Contudo, supor essa extensão de modo irrestrito pode, por exemplo, criar uma visão errônea do que ocorre quando duas ondas se cruzam. Como evidenciado nas pesquisas exploradas no presente artigo, com frequência, os estudantes priorizam um modelo mecânico de partículas equivocado para construir o raciocínio das ondas.

Essas distorções presentes nos modelos mentais dos estudantes podem ser problematizadas didaticamente junto à contextualização histórica do modelo ondulatório

proposto por Huygens, conforme explorado no presente artigo. Neste sentido que enfatizamos os potenciais educativos deste episódio histórico, por tornar possível a incursão de conceitos físicos pertinentes a uma interpretação moderna de ondas mecânicas. O estudo crítico do modelo ondulatório de Huygens (com forte viés mecânico) que, se assemelha à propagação das ondas sonoras, possibilita abordar didaticamente o papel da fonte e do meio na propagação das ondas mecânicas e o mecanismo de restauração de equilíbrio do meio. Por outro lado, a ausência de idéias como a superposição de ondas em Huygens pode expor ao aprendiz a insuficiência de traduzir um modelo de ondas em termos de modelos mecânicos unicamente, objetos em colisões não apresentam interferência como ondas.

O estudo de episódios históricos que exemplificam a conceitualização científica, no contexto educativo, pode contribuir para que os estudantes mergulhem nas perguntas científicas. Com base nisso, os desafios históricos, emergem como problemas de ensino, pertinentes para evidenciar, por exemplo, as primeiras sementes na interpretação de Huygens do modelo atual de ondas mecânicas. Os conceitos físicos atuais por sua vez não configuram a gênese da estratégia de ensino, eles surgem com a busca por respostas aos questionamentos presentes nos modelos históricos tratados. Logo, este episódio histórico não pode ser desconsiderado no ensino de física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education* **13** (3): 179-195, 2004. Disponível em: <<http://www.tc.umn.edu/~allch001/papers/pseudo.pdf>>. Acesso em: 01 fevereiro de 2008.
- ASTOLFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. *A didática das Ciências*. Campinas: Papirus, 2002.
- ASTOLFI, Jean-Pierre; DAROTI, Eliane; GINSBURGER-VOGEL, Yvette; TOUSSAINT, Jacques. *Mots-clés de la didactique des sciences. Pratiques Pédagogiques*. Bruxelles/Belgique: De Boeck & Larcier S.A., 1997.
- BALDINATO, José O. & PORTO, Paulo A. Variações da História da Ciência no Ensino de Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. *Anais...* Belo Horizonte: Abracep, 2008. V. 6. CD-ROM.
- CHEVALLARD, Yves. *La Transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique, 2005.
- CREW, Henry, *The Wave Theory of Light. Memoirs by Huygens, Young and Fresnel*. Nova York: American Book Company, 1900.
- DEVELAY, M. A propoo de la transposition didactique en sciences biologiques. *Annales de Didactiques des Sciences* **4**: 119-138, 1987.
- GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma Imagem não Deformada no Ensino de Ciências. *Ciência e Educação* **7** (2): 125-153, 2001. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/cienciaeeducacao/viewarticle.php?id=100&layout=abstract>>. Acesso em: 02 fevereiro de 2008.
- HAKFOORT, Casper. *Optics in the age of Euler – conceptions of the nature of light, 1700-1795*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- HESTENES, David. Modeling methodology for physics teachers. Pp.1-21, in: *Proceedings of the*

- International Conference on Undergraduate Physics Education*. Maryland University, College Park, 1996.
- HUYGENS, Christiaan. Tratado sobre a Luz. Trad. Roberto de Andrade Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **4**: 1-99, 1986.
- KAPER, W. H.; GOEDHART, M. F. Forms of Energy, an intermediary language on the road to thermodynamics? Part I. *International Journal of Science Education* **24** (1): 81-95, 2002.
- KRAPAS, Sônia; QUEIROZ, Glória; UZEDA, D.; CORREIA, J. P. O tratado da luz de Huygens: implicações didáticas. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. Atas do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, **1**: 1-12.
- MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. Pp. 167-189, in: SILVA, Cibelle C. (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006a.
- . Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. Pp.1-14, in: SILVA, Cibelle C. (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006b.
- . Como Distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 1 Física Clássica. *Caderno Catarinense do Ensino de Física* **15** (3): 243-264, 1998a.
- . Como Distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica. 2 Física Moderna. *Caderno Catarinense do Ensino de Física*, **15** (3): 265-300, 1998b.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense do Ensino de Física* **12** (3): 164-214, 1995.
- MELO, Ana Carolina Staub de. *Transposição didática do modelo de Huygens: uma proposta para a física escolar*. Florianópolis, 2010. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, UFSC.
- MELO, Ana Carolina Staub de. & SOUZA CRUZ, Frederico F. de. Transposição didática do modelo de Huygens: reconstruções das idéias originalmente propostas em seu 'Tratado da Luz'. In: VII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis.
- . O Gênero Histórico Priorizado em Textos Didáticos de Ensino de Física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da luz. In: XI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física, 2008, Curitiba.
- PAGLIARINI, Cassiano. R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, Ana. I.; AMADOR, Filomena. A História da Ciência em manuais escolares de ciências da natureza. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias* **6** (1): Pp.191-216, 2007.
- RICARDO, Elio; SLONGO, Ione; PIETROCOLA, Maurício. A Perturbação do Contrato Didático e o Gerenciamento dos Paradoxos. *Investigações em Ensino de ciências* **8** (2): 2003.
- SILVA, Fábio W. O. A Evolução da Teoria Ondulatória da Luz e os Livros Didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29** (1): 149-159, 2007.
- TARANTINO, Giovanni. Elastic Waves: Mental Models and Teaching/ Learning Sequences. In: SIXTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM "FRONTIERS OF FUNDAMENTAL AND COMPUTATIONAL PHYSICS", 9, 2004, Italy. *Proceedings...* Italy. 2004. P. 26-29. Disponível

em: <www.springerlink.com/index/k1063u58m755k330.pdf>. Acesso em: 26 de março de 2009.

VERGNAUD, G. La Théorie des Champs Conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques* **10** (23): 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. Multiplicative conceptual field: what and why? in: The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics. Guershon, H.; Confrey, J. (eds). Albany: State University of New York Press, 1994.

VOSNIADOU, S. Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* **4**: 45-69, 1994.

WHITTAKER, M. A History and Quasi-History in Physics Education. *Physics Education* **14** (2): 108-112, 1979 (a).

WHITTAKER, M. A History and Quasi-History in Physics Education. *Physics Education* **14** (4): 239-242, 1979 (b).

WITTMANN, Michael; STEINBERG, Richard N.; REDISH, Edward F. Making Sense of How Students Make Sense of Mechanical Waves. *The Physics Teacher* **37** (1): 3-58, 1999. Disponível em: <arxiv.org/pdf/physics/0207092>. Acesso em: 26 de março de 2009.

MIDGLEY E A TABELA PERIÓDICA: O DESENVOLVIMENTO DE NOVAS MOLÉCULAS NA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO XX

Hélio Elael Bonini Viana*
Paulo Alves Porto*

Resumo: *Trabalhos recentes apontam para a necessidade de um ensino de ciências contextualizado (Cachapuz, 2005). No presente trabalho, procura-se apresentar um estudo de caso, voltado para a formação de professores de química, no qual a tabela periódica é correlacionada com situações do cotidiano e do sistema produtivo, e com o qual se pretende também iniciar reflexões sobre aspectos éticos. Assim, voltando nosso olhar para as primeiras décadas do século XX, encontramos os trabalhos de Thomas Midgley Jr. (1889 – 1944), que utilizou a tabela periódica para prever o comportamento de moléculas que atendessem aos anseios de uma indústria química cuja demanda por novas substâncias era crescente. Dentre os vários compostos desenvolvidos por Midgley, destacamos aqui o tetraetilchumbo e os CFCs. Na década de 1920, impunha-se a necessidade de controlar a combustão nos motores a explosão, cujo uso em automóveis estava em franca expansão nos EUA. Inicialmente por tentativa e erro, e depois guiado pela tabela periódica, Midgley testou a eficácia de vários compostos, chegando finalmente ao tetraetilchumbo. Da forma semelhante, os CFCs também tiveram seu desenvolvimento relacionado a uma necessidade industrial: a busca por um novo fluido para a construção de refrigeradores. Os fluidos até então empregados eram tóxicos ou inflamáveis, ou não atendiam satisfatoriamente as propriedades industriais desejadas. Após muitas investigações, Midgley e seus colaboradores constataram que o CF_2Cl_2 e o $CFCl_3$ apresentavam as propriedades desejadas, e não observaram nenhum efeito tóxico sobre cobaias – o que sugeria também sua inocuidade no meio ambiente. Assim, a maneira como as moléculas foram concebidas por Midgley se configura como um estudo de caso que pode ser trabalhado com licenciandos e professores em formação continuada, possibilitando uma aproximação de um ensino de ciências contextualizado por intermédio de reflexões acerca da periodicidade, da natureza do conhecimento científico e, em particular, dos aspectos éticos relacionados à atividade em química.*

Palavras-chave: Midgley; tabela periódica; CFC; tetraetilchumbo

* Departamento de Química Geral e Inorgânica, Instituto de Química- Universidade Federal da Bahia. Rua Barão de Geremoabo S/N - Salvador, Bahia, Brasil. Email: helio.elael@ufba.br.

** Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química – Universidade de São Paulo. Av. Prof. Lineu Prestes, 748 – São Paulo, São Paulo, Brasil. Email: palporto@iq.usp.br

MIDGLEY AND THE PERIODIC TABLE: THE DEVELOPMENT OF NEW MOLECULES IN THE FIRST HALF OF THE TWENTIETH CENTURY

Abstract: *Recent studies point to the importance of a contextualized approach to science education (Cachapuz, 2005). In this study, we aim to present a case study, design for the training of chemistry teachers, in which the periodic system guided the solution to technological problems in the first decades of the 20th century. The focus is the work of Thomas Midgley Jr. (1889 - 1944), who used the periodic table to predict the behavior of molecules that could answer the increasing demands of American industry. Among the many compounds developed by Midgley, we focus on tetraethyl lead and the chlorofluorocarbons, or CFCs. In the 1920s, the use of internal combustion engines in cars was booming in the U.S.A., but the control of gasoline's octane was a serious obstacle. Initially by trial and error, and then guided by the periodic table, Midgley tested the effectiveness of various compounds, finally reaching to tetraethyl lead as the best antiknocking agent. The development of the CFCs was also related to an industrial need: the search for a new fluid for the construction of refrigerators. The fluids then employed were toxic or flammable, or did not meet satisfactorily the desired industrial properties. Midgley and co-workers found that CF_2Cl_2 and $CFCl_3$ had the desired properties. Testing the toxicity of these substances in guinea pigs, Midgley did not notice any detrimental effect to life, which also suggested its safety in the environment. Thus, the way molecules were designed by Midgley configures as a case study that can be worked with undergraduate students and teachers in continuing education, providing an approach to teaching science in context through reflections on periodic properties, on the nature of scientific knowledge, and, in particular, on ethical issues related to chemistry.*

Key-words: *Midgley; periodic table; CFCs; tetraethyllead*

1. INTRODUÇÃO

A história e a filosofia da ciência têm sido cada vez mais reconhecidas como componentes importantes no processo de formação de professores de ciências. A concretização desse ideal de formação, entretanto, ainda enfrenta muitos obstáculos (Höttecke & Silva, 2011). No contexto brasileiro, pode-se destacar o ainda pequeno número de materiais didáticos disponíveis que contemplam uma abordagem atualizada da história da ciência e são condizentes com os objetivos atuais do ensino de ciências (Prestes & Caldeira, 2009; Martins, 2006; Porto, 2010). Para suprir essa lacuna, estamos de acordo com autores como Martins (2006) e Allchin (2004), que defendem que a discussão aprofundada de um estudo de caso em história da ciência é mais relevante, no contexto didático, do que o conhecimento superficial de nomes, datas e episódios isolados. A inclusão de estudos de casos históricos no ensino de ciências pode assumir muitas formas diferentes (vide, por exemplo, Irwin, 2000; Allchin, 2004; Metz *et al.*, 2007); além disso, diferentes abordagens podem ser utilizadas conforme os objetivos educacionais e os níveis de ensino (Stinner *et al.*, 2003).

No presente trabalho, estamos propondo um estudo de caso focado em temas da história da química e, em particular, na trajetória de Thomas Midgley Jr. (1889 – 1944). Este estudo de

caso pode servir para despertar diferentes reflexões em diferentes níveis de ensino; entretanto, chamamos a atenção para a possibilidade de trabalhar o caso com professores de química em formação inicial ou continuada, destacando dois aspectos: a tabela periódica como instrumento utilizado pelos químicos; e questões éticas relacionadas aos riscos químicos. Scerri (2007) destacou recentemente a importância da tabela periódica para a atividade do químico e seu ensino, enquanto Brito; Rodriguez & Niaz (2005) mostraram algumas implicações do enfoque histórico para o ensino da tabela periódica. O estudo de caso proposto neste trabalho procura mostrar a importância decisiva da tabela periódica para a trajetória profissional de Midgley, o que pode servir de inspiração para professores de química formularem maneiras de ajudar seus alunos a compreenderem o significado e a utilidade desse instrumento de trabalho dos químicos. O segundo aspecto que destacamos refere-se à ética associada à química. A importância de discussões a respeito da ética na formação de profissionais de química já foi destacada por Coppola & Smith (1996), Kovac (1996; 2000) e Sjöström (2007). Dentre as várias questões éticas suscitadas pelo exercício das atividades em química, o estudo de caso em tela desperta reflexões a respeito de como lidar com os riscos oferecidos pela manipulação das substâncias – especialmente quando o químico está diante de novas substâncias que podem ter aplicações práticas, mas cujos riscos potenciais podem ainda não ser conhecidos. Assim, o caso apresentado neste artigo poderá auxiliar os professores a ampliar e enriquecer sua visão a respeito da química como ciência e como profissão.

No presente trabalho, pretende-se, por meio do estudo do desenvolvimento desses compostos, buscar algumas implicações para o ensino de química.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um reflexo da revolução experimentada pela química no século XX pode ser observado no exponencial crescimento do número de novas substâncias sintetizadas: no final do século XX já estavam catalogadas cerca de 19 milhões de substâncias; no início do século XIX, eram somente algumas dezenas (Schummer, 1999). Para entender as razões desse espetacular aumento, é necessário ter em mente a situação da química no começo do século XX. Com a expansão industrial desse período, novas substâncias passaram a ser necessárias para suprir as exigências tecnológicas, fazendo a química ser vista como um passaporte para um futuro melhor (Midgley, 1935). A química definitivamente se institucionalizou na forma de pesquisa industrial, voltada para a criação e produção comercial de novos materiais (Mauskopf, 1993).

Ao abordar o contexto do desenvolvimento de novas moléculas, é pertinente ressaltar a figura de Midgley. Engenheiro mecânico de formação, Midgley foi protagonista na produção de novos compostos, como os CFCs e o tetraetilchumbo, que se apresentaram como soluções para problemas prementes da indústria. A maneira como Midgley e colaboradores chegaram a esses compostos aponta para uma intensa reflexão acerca da periodicidade das propriedades dos elementos.

2.1 Desenvolvimento de novas moléculas: o caso do tetraetilchumbo e dos CFCs

Considerando inicialmente o tetraetilchumbo, a escolha desse composto ocorreu a partir

de pesquisas envolvendo novos antidetonantes para a indústria de combustíveis, iniciadas no final da década de 1910. Como a gasolina empregada até então era de baixa octanagem, o consumo de combustível pelos veículos acabava sendo elevado – a gasolina detonava facilmente. Sendo assim, se fazia necessário encontrar uma forma de melhorar a qualidade da gasolina. Nesse contexto, Midgley e colaboradores supuseram que a octanagem da gasolina poderia ser aumentada a partir da adição de um antidetonante. Essa substância deveria ter baixo custo, poucos efeitos deletérios ao motor e alta eficiência. Como ponto de partida na busca do antidetonante almejado, Midgley passou a testar experimentalmente aquilo que foi chamado de “hipótese do arbusto rasteiro” (McGraine, 2002). De acordo com o engenheiro mecânico, uma possível razão para a existência desse tipo de vegetação em regiões de clima polar seria a coloração avermelhada da parte inferior das folhas, a qual permitiria, supostamente, a absorção de calor. Desse modo, pensou Midgley, a adição de uma substância vermelha à gasolina talvez levasse à absorção da radiação da chama, fazendo com que a gasolina vaporizasse lentamente. Seguindo essa linha de raciocínio, o iodo foi testado e suas propriedades atenderam às expectativas: o iodo se comportava como antidetonante. Entretanto, além da toxicidade de seus fumos, e do fato de seus resíduos serem capazes de corroer e obstruir o motor, a adição de iodo na gasolina acarretaria em um aumento considerável no seu valor de venda. Em vista disso, o iodo, apesar de ser um antidetonante, não apresentava as propriedades adequadas para ser adicionado em combustíveis. Mas essas características não estavam relacionadas à hipótese do arbusto rasteiro. Visando verificar se a propriedade antidetonante estava vinculada à coloração vermelha, Midgley procedeu a testes com diversos compostos. Seus experimentos mostraram que o iodeto de etila, incolor, também era um antidetonante (com desvantagens similares às do iodo), mas que corantes vermelhos, diluídos em querosene, não eram antidetonantes. A partir dessas constatações, Midgley deu início a um processo de busca por antidetonantes que não apresentassem iodo em sua composição.

Após sucessivos experimentos aleatórios, baseados em tentativas e erros, Midgley observou que a anilina era um antidetonante mais efetivo que o iodo. Obtida facilmente do índigo, o custo da anilina no processo seria consideravelmente baixo. Não obstante essas vantagens aparentes, sua ação corrosiva frente a metais, e o odor desagradável, impediam que a anilina fosse utilizada como aditivo para gasolina. Realizando mais testes, dessa vez sintetizando compostos com os grupos etil e fenil, Midgley chegou ao dietilselênio e ao dietiltelúrio. Novamente, a questão do odor não possibilitava o emprego dessas substâncias. Apesar desses resultados desestimulantes à primeira vista, estreitas relações com a periodicidade das propriedades dos elementos foram percebidas, quando os dados obtidos foram registrados em um gráfico do efeito antidetonante em função do número atômico do elemento unido à cadeia carbônica (figura 1). Nas palavras de Midgley:

Com esses fatos diante de nós, lucramos em abandonar o método de Edson em favor de um procedimento correlativo, baseado na tabela periódica. O que tinha parecido, algumas vezes, uma busca inútil, levando muitos anos e custando uma considerável soma de dinheiro, rapidamente se tornou uma “caça à raposa”. Previsões começavam a ser cumpridas ao invés de fracassarem. (Midgley, 1937, p. 242) Figuras

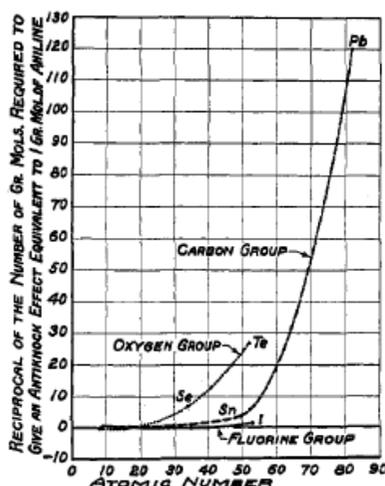


Fig. 1. Efeito antidetonante de compostos pertencentes a vários grupos da tabela periódica (Midgley, 1937, p. 344).

Assim, a tabela periódica começou a ser empregada para prever a composição de novos antidetonantes a serem testados. Seguindo a tabela (figura 2), foram testados compostos dos elementos do grupo do nitrogênio e do carbono. Nessa sequência, os compostos de estanho, especialmente o dietilestanho, se mostraram excelentes antidetonantes. Tais resultados, associados a previsões teóricas, apontavam para um composto contendo chumbo. Assim, os resultados mais satisfatórios foram obtidos com o tetraetilchumbo (Garrett, 1962). O antidetonante idealizado havia sido produzido.

NUMBER OF VACANT SPACES IN OUTER SHELL

Shell	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0			
I																																	H	He		
II a																																				
II b																																				
III a																																				
III b																																				
IV a																																				
IV b																																				

Fig. 2. Tabela periódica baseada no sistema de Langmuir (Midgley, 1937, p. 243).

No que se refere à toxicidade do tetraetilchumbo, os males à saúde que esta substância poderia causar já eram bem conhecidos por médicos e químicos alemães. Os próprios médicos estadunidenses estavam reticentes quanto à inocuidade do tetraetilchumbo, pois os

problemas causados pelo envenenamento pelo chumbo inorgânico já eram bem conhecidos. Mesmo conhecendo esses dados, Midgley acreditou que não existiria perigo concreto na utilização do tetraetilchumbo, pois essa substância deveria ser adicionada à gasolina em pequenas quantidades. Dessa maneira, o tetraetilchumbo passou a ser produzido em escala industrial. Em consequência, sobrevieram mortes e intoxicações de inúmeras pessoas que trabalhavam na sua linha de produção. Para minimizar a pressão social crescente sobre o tetraetilchumbo, novas medidas de manipulação foram implementadas. Casos de envenenamento posteriores a essas medidas foram atribuídos à falta de cuidado dos operários que atuavam em sua produção. Midgley afirmou que “os perigos relativos ao tetraetilchumbo haviam sido controlados”, mas suas palavras não convenceram a muitos médicos. Originou-se um embate: de um lado estava a indústria química, defendendo o uso do tetraetilchumbo; e de outro, as corporações da área de saúde, defendendo o seu banimento. Submetendo jovens ao contato com o tetraetilchumbo (pela ingestão e respiração), Robert Kehoe, médico contratado pela *Ethyl Corporation* (fabricante do tetraetilchumbo), diagnosticou a presença de chumbo na urina e nas fezes dessas pessoas. Diante desses resultados, Kehoe concluiu que o chumbo não estava sendo acumulado em quantidades significativas pelo organismo humano. Tais conclusões foram decisivas para que o tetraetilchumbo continuasse a ser empregado como aditivo até o final da década de 1970, quando começou a ser proscrito.¹

No final da década de 1920, Midgley já possuía uma carreira de destaque: era vice-presidente da *Ethyl Corporation* e consultor da *General Motors*. Considerado grande especialista na solução de problemas da indústria química, Midgley recebeu outra missão complexa: encontrar um novo fluido para ser empregado na indústria de refrigeração. Nessa época, os fluidos então utilizados eram responsáveis por graves acidentes (explosões e intoxicações), inibindo o uso dos aparelhos de refrigeração – o consumo de geladeiras era muito baixo. Entre as consequências disso, por exemplo, vacinas eram perdidas, bem como vultosas somas em alimentos estragados. Logo, havia a demanda por um fluido refrigerante que fosse, ao mesmo tempo, não tóxico, não inflamável, barato e com propriedades industriais adequadas (isto é, este fluido deveria liquefazer facilmente com o aumento de pressão, sem necessidade do emprego de temperaturas muito baixas, absorvendo energia do ambiente para retornar ao estado gasoso). A Tabela 1, reproduzida de um artigo escrito por Midgley (1930), traz uma comparação entre algumas propriedades relevantes de substâncias então usadas como fluidos em refrigeradores. Analisando cuidadosamente cada um dos fluidos refrigerantes, percebe-se que nenhum deles satisfaz completamente as três propriedades destacadas: 1) propriedades de engenharia – abrange estabilidade, não corrosividade e pressão de vapor apropriada; 2) inflamabilidade e 3) toxicidade.

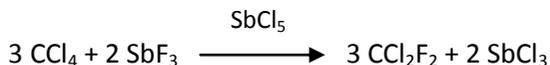
1 A EPA (Environmental Protection Agency), agência federal estadunidense criada por Richard Nixon em 1970, exerceu fortes pressões contra a fabricação do tetraetilchumbo desde a sua fundação.

Tabela 1. Comparação de propriedades relevantes para a construção de refrigeradores, para algumas substâncias usadas com essa finalidade na década de 1920 (Midgley, 1930, p. 542).

Fluidos	Propriedades de engenharia	Inflamabilidade	Toxicidade
Ar	Não liquefaz	OK	OK
Dióxido de carbono	Pressão de vapor excessiva	OK	OK
Água	OK	OK	OK
Amônia	OK	Levemente inflamável	Tóxico mas fornece ampla prevenção
Dióxido de enxofre	OK	OK	Tóxico mas fornece ampla prevenção
Cloreto de metila	OK	Levemente inflamável	Tóxico, sem prevenção
Brometo de metila	Vácuo	Levemente inflamável	Tóxico, sem prevenção
Butano	OK	Muito inflamável	OK

Disposto a enfrentar esse problema, Midgley e colaboradores lançaram-se na pesquisa por novos fluidos que pudessem substituir os então utilizados (McGraine, 2002). Observando a tabela periódica segundo a organização de Langmuir (Fig. 2), Midgley rapidamente percebeu que os elementos químicos presentes nos fluidos de refrigeração estavam situados no lado direito. Com relação à toxicidade, especulou que essa propriedade diminuía dos elementos mais “pesados” (situados na parte inferior da tabela) para os elementos mais leves (situados na parte superior da tabela). Já com relação à inflamabilidade, esta diminuiria no sentido da direita para a esquerda da tabela periódica. Analisando a tabela periódica de Langmuir, Midgley concluiu que essas duas observações levavam ao flúor, porém era sabido que a substância simples flúor era extremamente tóxica. Seguindo essa linha de raciocínio, Midgley e Albert L. Henne (1930) presumiram que o composto almejado poderia conter flúor em sua estrutura. A partir das propriedades físico-químicas do metano (CH_4), do tetrafluoreto de carbono (CF_4), do tetracloreto de carbono (CCl_4) e de outros organoclorados – Henne era um especialista em organoclorados – Midgley e Henne elaboraram diagramas relacionando o ponto de ebulição com a estabilidade, toxicidade e inflamabilidade desses compostos com os de vários haletos orgânicos. A principal dificuldade que encontraram nessa jornada foi a discordância acerca do ponto de ebulição do tetrafluoreto de carbono: o valor correto, conforme a dupla concluiu, era de -128°C e não de -15°C , como se supunha até o final da década de 1930.

Analisando a Figura 3 também reproduzida do artigo de Midgley (1930), percebe-se que o CF_2Cl_2 e o CFCl_3 apresentam pontos de ebulição situados (aproximadamente) entre -30 e $+30^\circ\text{C}$, além de baixa inflamabilidade (nas fórmulas químicas representadas no diagrama foram omitidos o carbono e hidrogênio). A equação química a seguir exemplifica o método usado por Midgley e colaboradores para preparar os CFCs. No caso do CCl_2F_2 , eles partiram de CCl_4 e SbF_3 (Midgley e Henne, 1930):



Testando a toxicidade do CCl_2F_2 em cobaias, Midgley não percebeu nenhum efeito danoso à vida (Tabela 2). Os nomes comerciais dos CFCs foram dados tomando por base a relação entre carbono e flúor existente nas moléculas (por exemplo, o CFCl_3 passou a ser conhecido como CFC-11, e o CF_2Cl_2 foi denominado CFC-12).

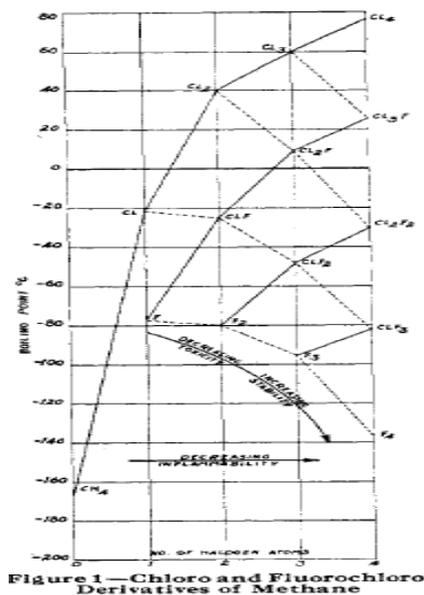


Fig. 3. Diagrama comparando propriedades físico-químicas de diferentes CFCs. Os átomos de carbono e hidrogênio não estão representados nas fórmulas (Midgley, 1930, p. 543).

Tabela 2: Toxicidade de substâncias usadas na indústria de refrigeradores (concentrações expressas em porcentagens em volume no ar) (Midgley, 1930, p. 544).

Gás	Provoca a morte de animais em um curto intervalo de tempo (%)	Oferece risco à vida no intervalo d 30 a 60 minutos (%)	Concentração máxima em que não oferece risco à vida por horas (%)
Amônia	0,5 a 1,0	0,25 a 0,45	0,01
Cloreto de metila	15 a 30	2 a 4	0,05 a 0,1
Dióxido de carbono	30	6 a 8	2 a 3
Diclorodifluorometano	Não disponível	80	40

Desse modo, percebe-se que os CFCs, assim como o tetraetilchumbo, começaram a ser produzidos em larga escala, dentro de um contexto em que os problemas ambientais decorrentes de seu uso não eram imagináveis. Considerando os aspectos científicos e sócio-históricos envolvidos, os casos do desenvolvimento dos CFCs e do tetraetilchumbo se revelam como ricos em possibilidades para discussão no âmbito do ensino de química.

2.2 Os compostos de Midgley como estudo de caso para o ensino de química

Um dos aspectos mais intrigantes no caso de Midgley é a maneira como esse engenheiro modificou sua abordagem para a pesquisa de novos compostos. Inicialmente, ele se orientou por uma abordagem que pouco tinha a ver com a química moderna. Seu raciocínio foi por analogia: se os corantes vermelhos permitiam a retenção de calor pelos arbustos das regiões frias, então talvez também pudessem aumentar a octanagem da gasolina. Seria como se houvesse um “princípio” responsável pela cor vermelha nos corpos, o qual seria também portador da propriedade de reter o calor. Midgley fez experimentos com muitos corantes, orientado apenas por essa ideia que poderíamos considerar como *quasi-alquímica*. Entretanto, sua abordagem se modificou radicalmente a partir do momento em que Midgley se apoderou do conhecimento sobre a tabela periódica e o empregou para a previsão de novos compostos com as propriedades desejadas. A relevância da tabela periódica como instrumento de trabalho para o químico moderno não pode ser minimizada. Conforme destacou Scerri (2007, p. xiii): “a tabela periódica dos elementos é um dos mais importantes ícones em ciência: um documento simples que captura toda a essência da química em um padrão elegante.”

A literatura mostra que a tabela periódica dos elementos já foi apresentada de muitas formas distintas (Scerri, 2007). Segundo Nelson (1988), a escolha de cada tabela depende do assunto a ser ensinado, sendo que, por exemplo, se pretende introduzir a tabela periódica a estudantes do ensino médio, uma primeira versão, sem conceitos abstratos, pode ser priorizada. Seguindo esse raciocínio, observa-se que a apresentação da tabela periódica organizada pelo sistema de Langmuir requer que os estudantes tenham algum conhecimento de química estrutural. Logo, o estudo de caso do desenvolvimento dos CFCs e do tetraetilchumbo poderia ser profícuo em níveis mais avançados de ensino; por exemplo, para a formação continuada de professores, ou mesmo para estudantes que estejam cursando licenciatura.

Outro ponto relevante são os aspectos da natureza da ciência que afloram do estudo de caso acerca dos CFCs e do tetraetilchumbo. Focando no desenvolvimento desses compostos, pode-se discutir, dentre outros aspectos, que:

I) o conhecimento científico não é criado apenas como um fim em si mesmo, mas reflete a busca de soluções para problemas, sejam eles de natureza intelectual ou (como neste caso) de natureza prática;

II) a ciência não é feita de forma linear e acumulativa, mas pode tomar rumos inesperados. Neste caso, embora já existisse conhecimento sobre a toxicidade dos compostos de chumbo, os interesses econômicos parecem ter feito com que prevalecessem os estudos que minimizavam esses riscos;

III) uma perspectiva teórica alternativa pode ser bastante útil para o desenvolvimento de

uma determinada área da ciência ou da tecnologia. A formação de Midgley era em engenharia mecânica, e suas primeiras tentativas para a produção de um antidetonante para a gasolina mostravam precário conhecimento da química moderna. Ao compreender a utilidade da tabela periódica, porém, sua abordagem para a questão se tornou muito mais eficaz;

IV) um dos aspectos mais característicos da química é a produção de novas substâncias e materiais, que não existem na Natureza. Essa atividade se mostra intrinsecamente perigosa, exigindo dos químicos muita responsabilidade na sua atuação profissional. O caso em estudo mostra três dimensões do risco químico. O tetraetilchumbo oferecia risco para os trabalhadores diretamente expostos a ele em sua produção (risco individual), e também para as regiões onde o tráfego de veículos provocava a dispersão dos compostos de chumbo (risco ambiental local). Os CFCs, por sua vez, permaneciam intactos na baixa atmosfera; passaram-se décadas até que os cientistas se dessem conta que os CFCs, ao difundirem até a estratosfera, provocavam a destruição da camada de ozônio – em um processo que, se não fosse interrompido, poderia colocar em perigo todas as formas de vida no planeta (risco ambiental global).

Uma possibilidade de trabalho com professores em formação inicial ou continuada seria a apresentação desse estudo de caso na forma de um texto, seguido por uma discussão. Para orientar essa atividade, algumas questões poderiam ser propostas na forma de uma folha de discussão, destinada a fomentar reflexões críticas sobre o texto. Seguem-se algumas sugestões de questões desse tipo:

a) Compare o modo como Midgley conduzia suas pesquisas antes e depois de passar a utilizar a tabela periódica. Em sua opinião, qual o papel da tabela periódica na atividade profissional dos químicos?

b) Você acha que o fato de o médico Robert Kehoe ser contratado pela *Ethyl Corporation* pode ter influenciado a opinião dele sobre os riscos oferecidos pelo tetraetilchumbo? Comente.

c) A *Ethyl Corporation* tinha interesse na comercialização do tetraetilchumbo, e realizou estudos científicos que apontavam para a segurança no uso dessa substância. Em sua opinião, deve haver algum tipo de regulamentação para a fabricação e a venda de inovações produzidas pela indústria química? Se não, por quê? Se sim, como poderia ser essa regulamentação? Explique.

d) No momento em que Midgley e Henne concluíram que os CFCs seriam ótimos fluidos para a indústria de refrigeração, eles não tinham como saber que esses compostos representavam riscos para a camada de ozônio. Você acha que eles foram incautos? É possível prever todos os riscos oferecidos pelas novas substâncias sintetizadas pelos químicos, e que têm aplicações práticas? Como lidar simultaneamente com inovações tecnológicas representadas por novas substâncias, e com a precaução necessária para não expor as pessoas e o ambiente ao risco?

Não se espera que os participantes da discussão respondam a questões como essas de uma única maneira. Diferentes opiniões podem surgir, e não é necessário que se chegue necessariamente a um consenso ao final dos debates. O mais importante para a formação dos professores, neste caso, é o próprio processo de construção e confronto dos argumentos, e mesmo a constatação de que a divergência de pontos de vista pode ser saudável. Desta forma, este tipo de atividade poderia contribuir para modificar uma postura que Höttecke e Silva (2011) descreveram como parte da cultura do ensino de ciências da Natureza: a de que

os professores dessas disciplinas têm dificuldade em lidar com a diversidade de opiniões e em moderar discussões e negociações entre os alunos.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da formação de professores de química, o estudo de caso do desenvolvimento da indústria do tetraetilchumbo e dos CFCs pode servir para motivar reflexões de diferentes tipos. Por um lado, o caso mostra a resolução de problemas tecnológicos pautada no conhecimento das propriedades periódicas dos elementos químicos. Além disso, permite discutir importantes aspectos da natureza do conhecimento científico, como o fato de a ciência não se constituir em um conjunto de verdades absolutas, e de haver princípios éticos essencialmente envolvidos na atividade de síntese química, especialmente em escala industrial. Dessa forma, esse estudo de caso pode servir ao objetivo de formar profissionais de química críticos e reflexivos, tal como preconizado pelo Parecer CNE/CES 1303/2001:

Diante dessa constatação, advoga-se a necessidade de criar um novo modelo de curso superior, que privilegie o papel e a importância do estudante no processo da aprendizagem, em que o papel do professor, de “ensinar coisas e soluções”, passe a ser “ensinar o estudante a aprender coisas e soluções”... O estudante deve... aprender a “ler” o mundo, aprender a questionar as situações, sistematizar problemas e buscar criativamente soluções... [O profissional de química deve] [p]ossuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político. (Brasil, Ministério da Educação, Parecer CNE/CES 1303/2001)

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* **13**: 179-195, 2004.
- BRASIL, Ministério da Educação – Conselho Nacional de Educação/ Câmara de Educação Superior (CNE/CES). Diretrizes Nacionais para os Cursos de Química. Parecer CNE/CES 1303/2001, 06 de novembro de 2001. Relator Francisco César de Sá Barreto. Brasília, Diário Oficial da União de 07 de dezembro de 2001, seção 1, p. 25.
- BRITO, Angmary; RODRIGUEZ, Maria A.; NIAZ, Mansoor. A Reconstruction of Development of the Periodic Table Based on History and Philosophy of Science and Its Implications for General Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* **42** (1): 84-111, 2005.
- CACHAPUZ, Antônio. *A necessária renovação no ensino de ciências*. São Paulo: Cortez, 2005.
- COPPOLA, Brian P.; SMITH, David H. A case for ethics. *Journal of Chemical Education* **73** (1): 33-34, 1996.
- GARRETT, Albert B. Lead tetraethyl: Thomas Midgley Jr., T. A. Boyd and C. A. Hochwalt *Journal of Chemical Education*. **39** (8): 414-415, 1962.

- HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle Celestino. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education* **20**: 293–316, 2011.
- IRWIN, A. Historical case studies: Teaching the nature of science in context. *Science Education* **84** (1): 5–26, 2000.
- KOVAC, Jeffrey. Professionalism and ethics in chemistry. *Foundations of Chemistry* **2**: 207-219, 2000.
- . Scientific ethics in chemical education. *Journal of Chemical Education* **73** (10): 926-928, 1996.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. Pp. 17-30, in: Silva, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para sua aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- MAUSKOPF, Seymour H. Introduction. Pp. xi-xxii, in: MAUSKOPF, S. H. (ed.). *Chemical Sciences in the Modern World*. Filadélfia: University of Pennsylvania Press, 1993.
- McGRAYNE, Sharon Bertsch. *Prometheans in the lab: chemistry and making new world*. 1. ed. New York: Mc-GrawHill, 2002.
- METZ, Don; KLASSEN, Stephen; McMILLAN, Barbara A.; CLOUGH, Michael; OLSON, Joanne. Building a foundation for the use of historical narratives. *Science & Education* **16**: 313–334, 2007.
- MIDGLEY Jr, Thomas. From the periodic tabel to production. *Industrial and Engineering Chemistry* **29** (2): 241-244, 1937.
- . Chemistry in the next century. *Industrial and Engineering Chemistry* **27** (5): 494-498, 1935.
- MIDGLEY Jr, Thomas; HENNE, Albert L. Organic Fluorides as Refrigerants. *Industrial and Engineering Chemistry* **22** (5): 542-545, 1930.
- NELSON, Peter G. Presenting the periodic table. *Education in Chemistry* **25**: 185-187, 1988.
- PORTO, Paulo Alves. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. Pp. 159–180, in: SANTOS, W. L. P. & MALDANER O. A. (orgs.). *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.
- PRESTES, Maria Elice B.; CALDEIRA, Ana Maria de Andrade. Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia* **4**: 1-16, 2009.
- SCERRI, Eric R. *The periodic table: its history and its significance*. New Oxford: University Press, 2007.
- SCHUMMER, Joachim. Coping with the Growth of Chemical Knowledge. *Educación Química* **10** (2): 92-101, 1999.
- SJÖSTRÖM, Jesper. The discourse of chemistry (and beyond). Hyle. *International Journal for Philosophy of Chemistry* **13** (2): 83-97, 2007.
- STINNER, Arthur; McMILLAN, Barbara A.; METZ, Don; JILEK, Jana M.; KLASSEN, Stephen. The renewal of case studies in science education. *Science & Education* **12**: 617-643, 2003.

MOTOR DE AMPÈRE: ELEMENTOS PARA UM ENSINO CRÍTICO DA FÍSICA

João Paulo Martins Castro Chaib*
André Koch Torres Assis**

Resumo: *Ultimamente tem sido publicada uma série de artigos tratando de experiências com ímãs fortemente imantados. Entre eles destaca-se o motor de Ampère, denominado também de motor homopolar ou unipolar. Este motor pode ser facilmente reproduzido em sala de aula. Ele apresenta um fenômeno de rotação contínua intrigante e sua história carrega um debate a respeito da origem de seu movimento que se estende até a atualidade. Porém, quando se encontra uma descrição da sua história nos artigos recentes, falta coerência com as fontes primárias. Desta maneira, por falta de informação, o debate epistemológico que vem se arrastando por detrás deste fenômeno acaba sendo ignorado, banalizado ou até mesmo distorcido. A história da ciência é uma abordagem necessária para compreender a física como construção humana, entendendo como ela se desenvolveu. Dentro desta perspectiva, descrevemos a explicação deste fenômeno dada por Ampère, a explicação alternativa apresentada por Faraday e a explicação moderna baseada no conceito de campo magnético. Mostramos os aspectos conflitantes entre estas explicações, enfatizando as controvérsias que existem no eletromagnetismo. Com isso esperamos fornecer elementos para um ensino crítico da física.*

Palavras-chave: *motor de Ampère; motor de Faraday; experiências em sala de aula; controvérsias*

AMPÈRE'S MOTOR: ELEMENTS FOR A CRITICAL TEACHING OF PHYSICS

Abstract: *Recently many papers have been published dealing with experiments involving highly magnetized magnets. Ampère's motor is one of these experiments, also called homopolar or unipolar motor. It can be easily reproduced in the classroom. It presents an intriguing phenomenon of continuous rotation and its history shows a debate about the origins of its motion which continues nowadays. But the description of this motor in modern papers lacks coherence with primary sources. Therefore, the epistemological debate related to this phenomenon is ignored, simplified or distorted. The history of science is necessary to comprehend physics as a human construction, understanding its development. Taken this into account, it is presented the explanation of this phenomenon as given by Ampère, the alternative explanation offered by Faraday and the modern explanation based upon the magnetic field*

* Universidade Católica de Brasília, Curso de Física. QS 07 Lote 01 – EPCT Águas Claras 72030-170 - Brasília, DF - Brasil, e-mail: chaib@ucb.br.

** Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 13083-859 Campinas, SP, Brasil, e-mail: assis@ifi.unicamp.br, homepage: www.ifi.unicamp.br/~assis.

concept. We show the conflicting aspects of these explanations, emphasizing the controversies which exist in electromagnetism. In this way we hope to offer elements for a critical teaching of physics.

Key-words: *Ampère's motor; Faraday's motor; classroom experiments; controversies*

1. INTRODUÇÃO

Apesar de muitos autores apontarem a importância de se introduzir a história da ciência no ensino de física, existem muitos obstáculos que dificultam a realização deste ideal (Höttecke & Silva, 2011). Este trabalho apresenta uma experiência importante do eletromagnetismo que pode ser utilizada no nível de ensino médio ou de ensino superior. No caso de se utilizar esta experiência no ensino médio, devem-se evitar as fórmulas matemáticas apresentadas aqui, sendo que a demonstração e a discussão devem se concentrar nos aspectos conceituais do fenômeno. Já no ensino superior podem ser utilizadas as fórmulas apresentadas aqui para ilustrar as explicações alternativas deste fenômeno. Também destacamos que, apesar de importantes, nos concentraremos mais nos diferentes argumentos e interpretações que envolvem o fenômeno do que nas motivações filosóficas e epistemológicas que levaram Ampère e Faraday a assumirem diferentes pontos de partida para interpretar a experiência discutida aqui.

Desde que o ímã de neodímio – um ímã com uma magnetização muito grande comparada aos ímãs antigos – passou a ser comercializado em larga escala, os experimentos de eletromagnetismo em sala de aula se tornaram muito mais acessíveis (Featonby, 2005; 2006; Ireson & Twidle, 2008; Monteiro; Germano; Monteiro & Gaspar, 2010).

Entre os experimentos fáceis de serem realizados em sala, destaca-se o chamado motor homopolar ou unipolar, que tem sido amplamente divulgado nos últimos anos (Chiaverina, 2004; Schlichting & Ucke, 2004a; 2004b; Stewart, 2007; Featonby, 2007; Muñoz, 2007; Wong, 2009a; 2009b). Sua construção é tão fácil que ele tem sido chamado de o motor mais simples do mundo (Chiaverina, 2004; Schlichting & Ucke, 2004a).

Este experimento está ilustrado pela Figura 1. Vamos denominar este instrumento como motor de Ampère, já que Ampère foi o primeiro a prever este efeito e também o primeiro a realizar com sucesso esta experiência.

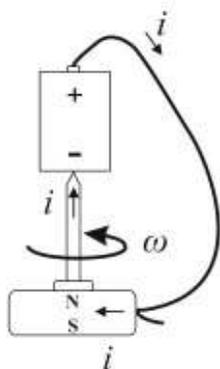


Fig. 1. Motor de Ampère. Quando flui uma corrente constante i pelo circuito, o ímã cilíndrico NS passa a girar juntamente com o parafuso imantado com uma velocidade angular constante ω em relação ao solo.

Para construir este motor¹ são necessários apenas quatro elementos: um ímã de neodímio, um parafuso de ferro, uma pilha e um fio de cobre comum. Em primeiro lugar, magnetiza-se um parafuso ou prego feitos de ferro ou de aço. Para isto basta aproximar a cabeça do parafuso de um ímã com intensa magnetização, como é o caso dos ímãs de neodímio. O parafuso fica então imantado e grudado no ímã. As extremidades de uma pilha comum são ferromagnéticas. Ao aproximar a ponta do parafuso magnetizado do terminal negativo de uma pilha, eles se atraem magneticamente. O parafuso e o ímã podem então ser suspensos verticalmente ao levantarmos a pilha com uma de nossas mãos, com a ponta do parafuso presa à parte inferior da pilha e com o ímã preso abaixo da cabeça do parafuso. Ou seja, seguramos apenas a pilha com uma de nossas mãos, o parafuso e o ímã ficam suspensos no ar presos à parte inferior da pilha. A atração gravitacional terrestre é contrabalançada pela atração magnética entre a extremidade inferior da pilha e a ponta do parafuso. Com isto acaba havendo um atrito muito pequeno entre o parafuso e a pilha. Por fim, fecha-se o circuito com um fio condutor de cobre que encosta no polo positivo da pilha e na lateral do ímã. Isto pode ser feito segurando a pilha no ar com uma mão, enquanto que o dedo indicador desta mão prende uma extremidade desencapada do fio na extremidade positiva da pilha, com a outra mão mantendo a outra extremidade desencapada do fio em contato deslizante com a borda do ímã. Quando isto ocorre o conjunto ímã-parafuso começa a girar ao redor de seu eixo vertical com uma grande velocidade angular em relação ao laboratório. Esta velocidade cresce rapidamente, alcançando um valor constante devido ao atrito. O fenômeno não ocorre caso se encoste a extremidade do fio no centro da parte circular plana inferior do ímã.

2. A EXPLICAÇÃO MODERNA BASEADA NO CONCEITO DE CAMPO MAGNÉTICO

A explicação da origem do movimento do motor de Ampère tem sido alvo de controvérsias (Chiaverina, 2004; Schlichting & Ucke, 2004b; Stewart, 2007).

A explicação usual utiliza o campo magnético \vec{B} produzido pelo ímã. Este campo é essencialmente uniforme dentro do ímã, apontando paralelamente ao seu eixo de simetria. Este campo agiria sobre a corrente radial i fluindo da periferia para o centro do disco. Haveria uma força sobre o ímã atuando ortogonalmente à direção da corrente e também ortogonalmente ao campo magnético. Esta força $d\vec{F}$ é conhecida como força de Lorentz, sendo dada pela seguinte expressão:

$$d\vec{F} = i d\vec{\ell} \times \vec{B} .$$

Nesta expressão a força atua sobre o elemento de corrente $i d\vec{\ell}$, com a direção da força sendo dada pela regra da mão direita, Figura 2 (Chiaverina, 2004; Schlichting & Ucke, 2004b; Stewart, 2007; Monteiro; Germano; Monteiro & Gaspar, 2010).

¹ Pode-se ver uma demonstração em vídeo deste motor na página <http://www.youtube.com/watch?v=KUDIKJ33Fvs> (acessada em 30/08/2013).

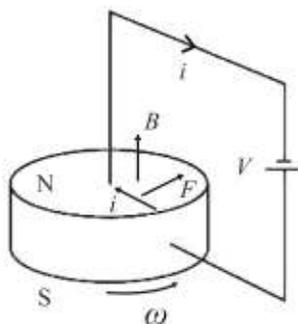


Fig. 2. Explicação do torque sobre o ímã utilizando a força de Lorentz e o campo magnético produzido pelo ímã.

Na Figura 2 temos que um ímã cilíndrico NS é ligado por fios condutores a uma bateria que gera uma tensão V entre seus terminais. Uma extremidade do fio parte da parte central superior do ímã, com sua outra extremidade ligada por contatos deslizantes à lateral do ímã, fazendo com que circule uma corrente i radialmente pelo ímã. O campo magnético B gerado pelo ímã atua sobre esta corrente exercendo uma força tangencial F que exerceria um torque sobre o ímã, fazendo com que ele gire com uma velocidade angular ω em relação ao solo.

De acordo com esta explicação usual, seria esta força tangencial exercida pelo campo magnético devido ao ímã e atuando sobre a corrente radial fluindo no ímã que exerceria um torque sobre o ímã fazendo-o girar ao redor de seu eixo.

3. A DESCOBERTA DESTE MOTOR

Para entender a descoberta do motor de Ampère, é importante falar do primeiro motor elétrico que se tem notícia e que foi apresentado por Michael Faraday (1791-1867) em setembro de 1821 (Faraday, 1821; 1952). Neste artigo, entre vários experimentos que realizou, o cientista inglês documentou pela primeira vez na história a rotação contínua do polo de um ímã ao redor de um fio condutor, assim como a rotação contínua da extremidade de um fio condutor ao redor de um ímã. Estes dois tipos do motor de Faraday aparecem na Figura 3 (Faraday, 1822).

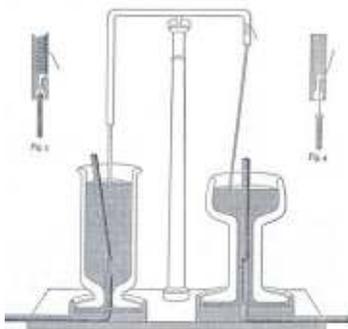


Fig. 3. Motores de Faraday, (Faraday, 1822, na prancha de figuras.).

Nesta Figura 3 temos duas experiências diferentes, sendo que nos dois casos temos copos cheios de mercúrio, os cilindros cinzas espessos representam ímãs, enquanto que os cilindros finos acima do mercúrio representam fios pelos quais passam correntes elétricas constantes. Apresentamos na Figura 4 um esquema destas duas experiências para facilitar sua compreensão.

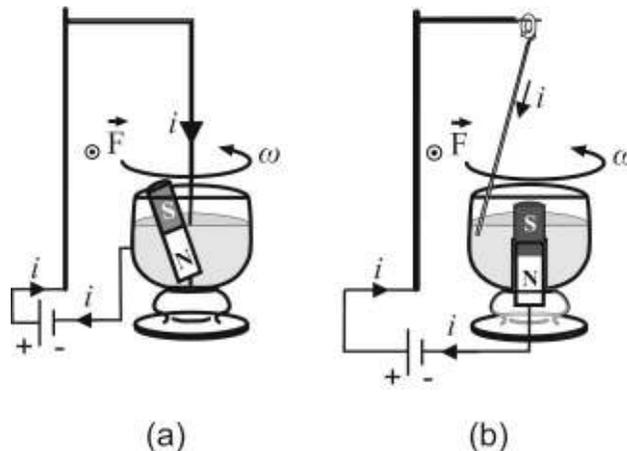


Fig. 4. Esquemas simplificados dos motores de Faraday. A situação (a) representa o lado esquerdo da Figura 3, enquanto que (b) representa o lado direito da Figura 3.

Na Figura 4 (a) temos que a extremidade superior do ímã gira ao redor do fio vertical parado no laboratório. A força sobre o polo Sul do ímã está saindo do papel nesta configuração. Já na Figura 4 (b) é a extremidade inferior do fio inclinado que gira ao redor do ímã vertical que está fixo em relação ao solo. A força sobre o fio está saindo do papel nesta configuração. Recentemente foram feitas algumas reproduções históricas e didáticas do motor de Faraday (Höttecke, 2000; Silva & Laburú, 2009).²

Faraday considerava como aspectos fundamentais da interação eletromagnética os fenômenos de revolução de um polo magnético ao redor de um longo fio com corrente, assim como a revolução da extremidade de um fio com corrente ao redor de um polo magnético. Em 1821, por exemplo, expressou-se da seguinte maneira (Faraday, 1821, p. 79; Faraday, 1952, p. 799): “O círculo descrito pelo fio ou pelo pólo um ao redor do outro pode ser considerado como um caso simples de movimento magnético.”

Em uma carta a De la Rive de 12 de setembro de 1821, Faraday enfatizou este ponto da seguinte forma:

Considero as atrações e repulsões usuais da agulha magnética pelo fio conjuntivo como enganosas [*deceptions*], não sendo os movimentos atrações ou repulsões, nem o resultado de quaisquer forças atrativas ou repulsivas, mas o resultado de uma força no fio que, em vez de aproximar o polo da agulha

² Pode-se ver uma demonstração em vídeo destas experiências na página <http://www.youtube.com/watch?v=Myy9tPs7H58> (acessada em 30/08/2013).

ou de afastá-lo do fio, tenta fazer com que ele [o polo] gire ao redor dele [do fio] em um movimento circular interminável enquanto a bateria permanece atuando. Fui bem sucedido não apenas em mostrar a existência deste movimento teoricamente, mas [também] experimentalmente, e tenho sido capaz de fazer à vontade o fio [com corrente] girar ao redor de um polo magnético, ou um polo magnético [girar] ao redor do fio. A lei de revolução, para a qual podem ser reduzidos todos os outros movimentos da agulha e do fio, é simples e bonita. (Jones, 1870, p. 316)

Para Faraday as interações eletromagnéticas mais básicas ou elementares seriam estas ações giratórias entre um polo magnético e um fio com corrente. Estas ações seriam transversais ou tangenciais, isto é, não estariam ao longo da reta que une o polo magnético ao fio com corrente. Futuramente Faraday viria a desenvolver a ideia de linhas de força circulares ou tangenciais ao redor de um longo fio com corrente.

Faraday também tentou fazer com que tanto o ímã quanto o fio girassem ao redor de seus próprios eixos, mas não obteve sucesso:

Tendo tido sucesso até aqui, tentei fazer um fio e um ímã girarem ao redor de seus próprios eixos fazendo com que fosse evitada a rotação em um círculo ao redor deles, mas não fui capaz de obter as menores indicações de que isto ocorre; nem isto parece provável ao refletir sobre o assunto. (Faraday, 1821, p. 79; Faraday, 1952, p. 798)

Logo após a publicação dos resultados de Faraday, André-Marie Ampère (1775-1836) mencionou o seguinte em uma carta para seu amigo Claude-Julien Bredin:

Chegando aqui [em Paris], a metafísica preenchia a minha cabeça; mas, desde que foi publicada a memória do Sr. Faraday, eu só sonho com correntes elétricas. Esta memória contém fatos eletromagnéticos muito singulares, que confirmam perfeitamente a minha teoria, embora o autor procure combatê-la para substituí-la [por] uma que inventou. (Launay, 1936, pp. 576-577)

Diferente de Faraday, Ampère considera como fenômenos fundamentais ou elementares as forças de atração e repulsão entre dois elementos de corrente, sempre ocorrendo ao longo da reta que os une. Para Ampère os polos magnéticos não eram entidades reais, sendo que interpretava todos os fenômenos magnéticos, eletromagnéticos e eletrodinâmicos em termos da interação entre correntes elétricas. Ampère foi o primeiro a observar em outubro de 1820 forças e torques entre dois condutores com corrente, sem a presença de qualquer ímã (Ampère, 1820; Chaib & Assis, 2007). Para Ampère a interação entre entidades heterogêneas (como um ímã e uma corrente elétrica) deve ter uma composição “mais complicada” do que a interação entre entidades homogêneas (Launay, 1936, pp. 570-572). Em 1822, por exemplo, ele insiste neste ponto em uma carta a Auguste de la Rive:

Não é evidente que é na ação entre duas coisas de mesma natureza como os dois condutores e não naquela [ação] entre duas coisas heterogêneas como um condutor e um ímã que se deve procurar o fato primitivo? (Launay, 1936, p. 605; Blondel, 1982, p. 112)

Ele justificou este ponto de vista em sua obra principal ao criticar a teoria de Biot, embora seus pontos de vista também pudessem ser aplicados à teoria de Faraday, com as seguintes palavras:

Além disso, embora o Sr. Biot tenha denominado de força elementar àquela [força] cujo valor e direção ele determinou para o caso em que um elemento de fio condutor age sobre cada uma das partículas de um ímã, está claro que não se pode considerar como verdadeiramente

elementar, nem uma força que se manifesta na ação entre dois elementos que não são da mesma natureza, nem uma força que não age ao longo da linha reta que une os dois pontos entre os quais ela se exerce. (Ampère, 1826, pp. 108-109)

Desta maneira, entendia a interação magnética ou eletromagnética apenas como resultados mais complexos de uma interação eletrodinâmica entre condutores com corrente. Por isso, via o ímã como um conjunto de correntes microscópicas fechadas de maneira que “um circuito fechado infinitamente pequeno pode ser sempre substituído por um ímã muito pequeno [...]” (Ampère, 1887, p. 198).

Deste modo e ao contrário de Faraday, Ampère não via problemas na possibilidade da rotação de um ímã ao redor de seu eixo. Assim, à luz de sua teoria, Ampère foi o primeiro a prever a existência deste fenômeno. E também foi o primeiro a observá-lo experimentalmente. Na Figura 5 apresentamos a montagem original de Ampère (Ampère, 1822a).

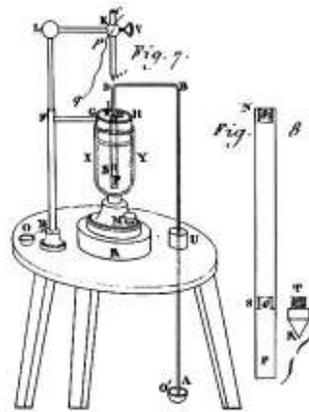


Fig. 5. Motor de Ampère original (Ampère, 1822a, na prancha de figuras).

Na Figura 6 temos um esquema simplificado deste motor (Blondel, 1982, p. 115).

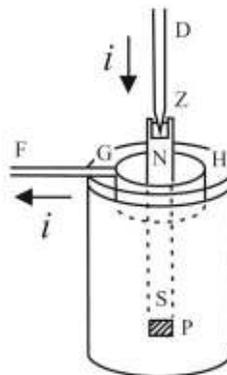


Fig. 6. Elementos principais do motor de Ampère (Blondel, 1982, p. 115).

O ímã cilíndrico NS flutua verticalmente no mercúrio com a ajuda de um contrapeso P na sua extremidade inferior. Na extremidade superior do ímã há uma cavidade Z preenchida com mercúrio. Uma corrente constante i desce verticalmente pelo condutor DZ , saindo lateralmente através de GF . Há um anel metálico GH flutuando no mercúrio. Nesta configuração o ímã gira ao redor do seu eixo.

Esta experiência foi realizada entre novembro e dezembro de 1821. Deste modo, Ampère foi o primeiro cientista a conseguir o efeito positivo da rotação de um ímã ao redor de seu eixo. Apresentou este resultado à Academia de Ciências de Paris em 7 de janeiro de 1822 (Ampère, 1822a; Ampère, 1822b; Ampère, 1885).

4. A EXPLICAÇÃO DE AMPÈRE

A concepção eletrodinâmica de Ampère era baseada em uma força que descrevia diretamente a interação entre os elementos de corrente ao longo da linha reta que os unia, sempre obedecendo à terceira lei de Newton na forma forte (Blondel, 1982; Assis, 1995; Hofmann, 1996; Bueno & Assis, 1998).

Para explicar o funcionamento de seu motor, Ampère considerou como essencial a interação entre a corrente microscópica do ímã (responsável por suas propriedades magnéticas) e a corrente macroscópica devida à bateria e fluindo externamente ao ímã.

Na Figura 7 apresentamos uma versão simplificada do motor de Ampère.

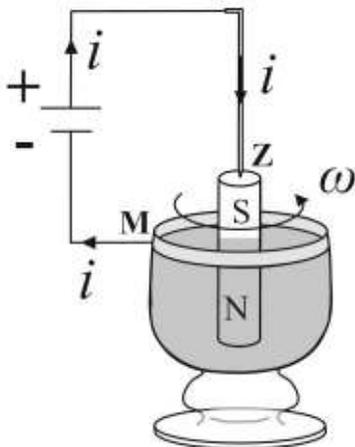


Fig. 7. Representação esquemática do motor de Ampère.

A essência da explicação de Ampère é apresentada na Figura 8 (Ampère, 1822a). O círculo interno $mn'Tn$ representa uma seção reta do ímã cilíndrico como vista de cima. A corrente i' ao longo do círculo nmn' representa a corrente interna ao ímã responsável por suas propriedades magnéticas. Ou seja, é a resultante das chamadas “correntes microscópicas” ou “correntes moleculares” de Ampère. A região entre os círculos interno e externo é preenchida com mercúrio. O círculo externo $Mcfc'$ representa o anel metálico flutuando no mercúrio ao redor do ímã. A corrente radial i ao longo do raio ZmM é a corrente elétrica macroscópica fluindo ao longo do circuito quando ele está ligado a uma bateria. Ela entra no ímã por sua extremidade superior, saindo radialmente do ímã para o mercúrio no qual o ímã flutua.

Existem correntes análogas saindo de Z e indo para todos os pontos da periferia do círculo cfc' . O principal aspecto a ser enfatizado é que a porção Zm desta corrente radial i passa dentro do ímã, enquanto que a porção mM flui no mercúrio externamente ao ímã.

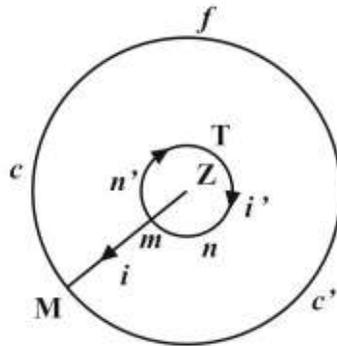


Fig. 8. A corrente macroscópica i saindo radialmente do ímã e interagindo com a corrente microscópica i' .

Palavras de Ampère com sua explicação desta experiência:

Seja ZM uma destas correntes, a porção Zm não age, de acordo com o que foi dito anteriormente, sobre as correntes elétricas do ímã; a porção mM atrai mn' e repele mn . Estas duas forças reunidas tendem a fazer o ímã girar ao redor dele mesmo no sentido $n'mn$. Forças semelhantes são exercidas simultaneamente sobre todos os pontos do ímã, [logo] ele gira ao redor de si mesmo indefinidamente. (Ampère 1822a, pp. 70-71; Ampère, 1822b, pp. 247-248; Ampère, 1885, pp. 201-202)

Na Figura 9 representamos estas forças indicadas por Ampère. Ou seja, as forças exercidas pela corrente macroscópica i fluindo no mercúrio de m para M atuando sobre as porções da corrente microscópica i' internas ao ímã, cuja resultante flui no sentido nmn' . A corrente externa em mM atrai a porção da corrente microscópica em mn' e repele a porção em mn . A resultante destas duas forças vai gerar um torque sobre o ímã fazendo com que ele gire ao redor de seu eixo no sentido $n'mn$.

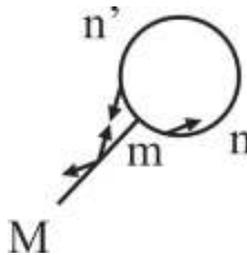


Fig. 9. As setas indicam as forças. A porção mM atrai $n'm$ e repele mn . Apresentamos também as forças de reação sobre mM .

Por ação e reação vem que as correntes moleculares do ímã vão exercer forças contrárias sobre as correntes macroscópicas que estão fluindo no mercúrio externamente ao ímã. Com isto o mercúrio tenderia a girar no sentido oposto à rotação do ímã de acordo com Ampère.

Pode-se perceber qualitativamente o sentido das interações representadas na Figura 9 utilizando a força de Ampère entre elementos de corrente. Para facilitar a compreensão dos

leitores modernos, esta força é apresentada aqui em linguagem vetorial e no Sistema Internacional de Unidades (Assis, 1995, p. 70; Bueno & Assis, 1998, p. 12):

$$d^2\vec{F}_{21}^A = -\frac{\mu_0}{4\pi} i_1 i_2 \frac{\hat{r}_{12}}{r_{12}^2} \left[2(d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2) - 3(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_1)(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_2) \right] = -d^2\vec{F}_{12}^A.$$

Nesta expressão $d^2\vec{F}_{21}^A$ é a força de Ampère exercida pelo elemento de corrente $i_2 d\vec{\ell}_2$ localizado em \vec{r}_2 atuando sobre o elemento de corrente $i_1 d\vec{\ell}_1$ localizado em \vec{r}_1 , a constante $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ kgmC}^{-2}$ é chamada de permeabilidade do vácuo, $r_{12} = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$ é a distância entre os dois elementos de corrente, enquanto que $\hat{r}_{12} = (\vec{r}_1 - \vec{r}_2)/r_{12}$ é o vetor unitário que aponta de $i_2 d\vec{\ell}_2$ para $i_1 d\vec{\ell}_1$.

É importante salientar que além de satisfazer ao princípio de ação e reação, $d^2\vec{F}_{21}^A = -d^2\vec{F}_{12}^A$, esta força sempre aponta ao longo da reta que une os dois elementos de corrente, ou seja, está ao longo de \hat{r}_{12} . Diz-se então que ela satisfaz ao princípio de ação e reação na forma forte, como acontece com a força gravitacional ou com a força eletrostática entre duas cargas.

5. A EXPLICAÇÃO DE FARADAY

Embora os aparatos das Figuras 1 e 3 sejam conceitualmente diferentes, Faraday considerava que eles funcionavam devido aos mesmos princípios físicos.

Ampère escreveu uma carta a Faraday informando-o de sua descoberta, carta esta atualmente perdida (Blondel, 1982, p. 116). Faraday respondeu em 2 de fevereiro de 1822. Ele não aceitava os princípios básicos da eletrodinâmica de Ampère. O modelo de Faraday se baseava na interação revolutiva ou giratória entre polo e corrente. Baseou sua explicação do motor de Ampère em sua própria experiência na qual a extremidade de um fio girava ao redor de um ímã, como representado no lado direito da Figura 3. Apresentamos um esquema simplificado deste motor de Faraday na Figura 4 (b).

Para explicar seu próprio motor Faraday considerava que o polo do ímã gerava uma força transversal ou tangencial \vec{F} sobre o fio com corrente. No caso da Figura 4 (b) esta força exercida pelo polo Sul sobre a corrente i que estava descendo pelo fio à esquerda do ímã estaria saindo do papel.

Faraday utilizou o mesmo modelo teórico para explicar o funcionamento do motor de Ampère. Só que agora passou a supor que o polo magnético agiria sobre correntes fluindo internamente ao ímã. Descreveu esta explicação em uma carta para Ampère datada de 2 de fevereiro de 1822. Na Figura 10 vem o desenho original de Faraday (Launay, 1943, p. 910):



Fig. 10. Ilustração de Faraday para explicar o motor de Ampère, (Launay, 1943, p. 910).

Explicação dada por Faraday, nossas palavras entre colchetes:

A rotação do ímã [ao redor do seu eixo] para mim parece acontecer em consequência das diferentes partículas das quais ele é composto serem colocadas no mesmo estado pela passagem da corrente de eletricidade assim como [o estado em que é colocado] o fio de comunicação entre os polos voltaicos, e a posição relativa do polo magnético em relação a elas [isto é, em relação a estas partículas]. Assim as pequenas setas podem representar o progresso da eletricidade. Então qualquer linha de partículas paralela a elas – exceto aquela linha que passa como um eixo através do polo (representado por um ponto) – estará na situação do fio girante e tentará girar ao redor do polo. E como todas as linhas agem na mesma direção ou tendem em um sentido único ao redor do polo, todo o ímã gira [ao redor de seu próprio eixo]. (Launay, 1943, p. 913)

Na Figura 11 ilustramos com setas estas forças supostas por Faraday.

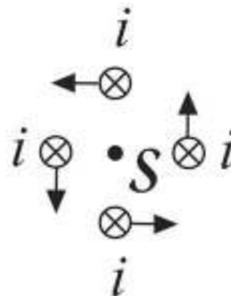


Fig. 11. As setas indicam as forças que o polo Sul estaria exercendo sobre as correntes que estariam descendo internamente ao ímã.

Na Figura 11 temos uma vista superior do motor de Ampère. O ponto central S indica o polo Sul do ímã. As correntes estão descendo pelo ímã (entrando no papel nesta Figura). As setas indicam as forças que Faraday supunha estarem atuando sobre estas correntes, sendo exercidas pelo polo Sul. Estas forças gerariam um torque sobre o ímã que faria com que ele girasse ao redor de seu eixo.

6. AMPÈRE CONTRA FARADAY

Ampère viu imediatamente que a explicação de Faraday violava a lei de ação e reação de Newton. Ampère mencionou isto a Faraday em sua resposta de 10 de julho de 1822 e também em suas publicações:

Um princípio fundamental e evidente na física é o de que, sendo a ação sempre igual à reação, é impossível que um corpo rígido seja movido de qualquer maneira, por uma ação mútua entre duas de suas partículas, já que esta ação produz sobre as duas partículas duas forças iguais que tendem a mover o corpo em sentidos opostos. De onde segue que, quando as partículas de um ímã atravessadas por uma corrente elétrica que as coloca no mesmo estado que o fio condutor agem sobre o polo ou sobre qualquer outra parte do ímã, não pode resultar disto qualquer movimento neste corpo, [...] A partir desta observação, a rotação ao redor de seu eixo de um ímã fluuando [no mercúrio] só pode ser explicada como o fiz na Memória inserida no caderno de maio dos *Annales de Chimie et de Physique*, e que te enviei recentemente. (Ampère, 1885, p. 298; Launay, 1936, p. 586)

A explicação de Faraday para a rotação do ímã ao redor de seu próprio eixo é baseada apenas na interação de forças giratórias ou revolativas atuando internamente ao ímã, criando um torque interno e uma aceleração angular de todo o sistema com relação a um observador externo. Isto é, o polo dentro do ímã faz uma ação giratória sempre no mesmo sentido (por exemplo, no sentido anti-horário quando o ímã é visto de cima para baixo ao longo do seu eixo de simetria) sobre as correntes elétricas internas ao próprio ímã.

Para Ampère esta explicação de Faraday não fazia sentido, pois violava a lei de ação e reação de Newton. Para Ampère a única interpretação possível para o seu motor era a que ele próprio havia fornecido em que as correntes elétricas macroscópicas fluindo **externamente** ao ímã exerciam um torque sobre as correntes microscópicas fluindo **internamente** ao ímã. Por ação e reação viria que estas correntes microscópicas exerceriam um torque oposto sobre as correntes macroscópicas fluindo no mercúrio externamente ao ímã.

Da mesma forma que Ampère rejeitou a explicação de Faraday, Ampère certamente também rejeitaria a explicação moderna baseada no conceito de campo magnético. Afinal de contas, também nesta explicação ocorre o chamado efeito *bootstrap*. Ou seja, o campo magnético devido ao próprio ímã estaria exercendo um torque sobre as correntes elétricas radiais fluindo internamente ao ímã, fazendo com que o ímã girasse sobre seu próprio eixo. Ampère jamais aceitaria esta explicação de um corpo gerando um torque sobre si mesmo.

7. EXISTE O CONTRA-TORQUE?

Mas afinal de contas, existe ou não o contra-torque exercido pelo ímã sobre as correntes macroscópicas fluindo externamente ao ímã? Esta é uma consequência necessária da explicação de Ampère que utiliza o princípio de ação e reação. Na sua época Ampère mencionou o movimento do mercúrio observado em experiências análogas feitas por H. Davy como sendo uma evidência deste contra-torque (Ampère, 1822c). Hoje em dia isto pode ser facilmente visualizado em sala de aula utilizando uma experiência análoga ao de motor de Ampère com um ímã de neodímio. Basta que se deixe a bateria e o ímã fixos em relação ao laboratório, enquanto que se permite que o condutor que fecha o circuito gire ao redor do

eixo do sistema. Por exemplo, pode-se visualizar o fio de cobre girando ao redor da bateria e do ímã (Schlichting & Ucke, 2004b; Featonby, 2006; Muñoz, 2007; Wong, 2009a; Monteiro; Germano; Monteiro & Gaspar, 2010). Uma alternativa ainda mais simples e interessante utiliza um simples cilindro de alumínio para fechar o circuito. Este cilindro pode ser feito, por exemplo, com o papel de alumínio utilizado na cozinha (Wong, 2009b). Vamos supor que na experiência original com o motor de Ampère o ímã gira no sentido horário quando visto de cima. Quando o ímã fica fixo no laboratório e quando se permite o giro do circuito externo, o que se observa é que este circuito gira no sentido anti-horário, comprovando a existência do contra-torque previsto na explicação original de Ampère.

8. APLICAÇÕES NO ENSINO DE FÍSICA

Existem muitas vantagens de se utilizar o motor de Ampère nas aulas de física em nível de ensino médio ou superior. Citamos aqui algumas delas:

- É muito simples construir este motor. Ele gira rapidamente, surpreendendo as pessoas.
- É um instrumento de baixo custo. Os ímãs de neodímio são facilmente encontráveis hoje em dia em diversas escolas e no comércio.
- Ele tem uma história extremamente interessante, ligada aos nomes de Ampère e de Faraday no período entre 1821 e 1822. Tudo isto pode motivar os estudantes a ler os textos originais. Isto é sempre uma atividade enriquecedora.
- Existe uma controvérsia fascinante envolvendo Ampère e Faraday sobre o funcionamento deste motor. Estes dois paradigmas podem ser comparados e explorados em sala de aula.
- Existem explicações diferentes para o funcionamento deste motor. A interpretação de Ampère é baseada na ação e reação entre as correntes microscópicas internas ao ímã e as correntes macroscópicas fluindo externamente ao ímã. Já a explicação de Faraday e a explicação moderna baseadas no conceito de campo, por outro lado, são baseadas no chamado efeito *bootstrap*. Ou seja, o ímã (seu polo ou seu próprio campo magnético) agindo sobre correntes internas ao ímã e gerando um torque sobre o próprio ímã.
- Mesmo hoje em dia existem muitas publicações discutindo o mecanismo de funcionamento do motor de Ampère (Stewart, 2007; Schlichting & Ucke, 2004b; Wong, 2009a).

Acreditamos que a execução do experimento não apenas por parte do professor, mas também pelos alunos, pode auxiliá-los a analisar o fenômeno observado e a contextualizar o debate sobre os mecanismos de seu funcionamento. O motor de Ampère é ideal para isto devido não apenas à sua simplicidade de operação, mas também ao seu baixo custo.

A existência de diferentes explicações para o fenômeno pode fomentar uma visão mais crítica sobre a ciência, explicitando seus aspectos humanos e subjetivos. Ao se explicitar que existem diferentes pontos de vista de como a natureza funciona (divergências em relação às interações fundamentais), diminui-se a tendência de se tornar trivial, óbvio e “lógico” o pensamento científico. É fundamental para um ensino crítico da física mostrar as divergências de opinião e os debates saudáveis que ocorreram ao longo da investigação científica.

9. CONCLUSÃO

Ampère foi o primeiro a prever, observar e explicar o giro contínuo de um ímã ao redor de seu eixo. Estes fatos e mais a busca pelo resgate histórico da origem deste experimento justificam que se denomine este tipo de aparelho como “motor de Ampère”.

Vimos que o próprio Faraday tinha uma explicação baseada somente na interação entre o polo do ímã e a corrente interna ao ímã, sem usar o conceito de linhas de força ou de campo magnético.

Ampère tinha uma posição epistemológica defendendo a interação entre elementos de corrente obedecendo à lei de ação e reação de Newton ao longo da reta que unia os elementos (Blondel, 1982; Assis, 1995; Hofmann, 1996; Bueno & Assis, 1998). Desta forma, usou destes conceitos para encontrar e explicar a rotação contínua de um ímã ao redor de seu eixo. Para ele o ímã não podia causar uma rotação em si mesmo. Este torque teria de ser causado por algum agente externo ao ímã. Para ele este agente externo era a corrente elétrica fluindo no mercúrio. Por ação e reação concluiu que o ímã teria de exercer um torque oposto sobre o mercúrio.

Para Faraday, ao contrário, o ímã podia causar uma rotação sobre si mesmo devido apenas a interações ocorrendo entre grandezas internas ao próprio ímã (seu polo e as correntes fluindo pelo ímã).

Consta nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) que a história da ciência é uma abordagem necessária para “compreender as ciências como construções humanas, entendo (sic) como elas se desenvolveram por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade” (Brasil, 2000). Esperamos com este trabalho contribuir nessa direção, apesar dos vários obstáculos que existem na introdução da história da ciência no ensino de física (Höttecke & Silva, 2011).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP e ao Comitê Organizador da *Primeira Conferência Latinoamericana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (1ª IHPST-LA)* pelo apoio financeiro para a participação nesta Conferência. Agradecem também ao assessor pelas sugestões relativas à primeira versão deste artigo, assim como a diversas pessoas por comentários e referências que enriqueceram este trabalho: C. Blondel, J. R. Hofmann, J. J. Lunazzi, T. E. Phipps Jr., F. L. d. Silveira, F. Steinle e B. Wolff.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMPÈRE, André-Marie. Mémoire présenté à l'Académie royale des Sciences, le 2 octobre 1820, où se trouve compris résumé de ce qui a été lu à la même Académie les 18 et 25 septembre 1820, sur les effets des courans électriques. *Annales de Chimie et de Physique* **15**: 59-76, 1820.
- . Expériences relatives à de nouveaux phénomènes électro-dynamiques. *Annales de Chimie et de Physique* **20**: 60-74, 1822 (a).

- . Expériences relatives aux nouveaux phénomènes électro-dynamiques que j'ai obtenus au mois de décembre 1821. Pp. 237-250, in: AMPÈRE, André-Marie (ed.). *Recueil d'Observations Électro-dynamiques*. Paris: Crochard, 1822 (b).
- . Nouvelles expériences électro-magnétiques de M.M. Faraday, Ampère, H. Davy, et De La Rive. *Bulletin des Sciences de la Société Philomatique de Paris* Vol. 9, pp. 21-23, 1822 (c).
- . *Théorie des Phénomènes Électro-dynamiques, Uniquement Déduite de l'Expérience*. Paris: Méquignon-Marvis, 1826.
- . Expériences relatives aux nouveaux phénomènes électro-dynamiques que j'ai obtenus au mois de décembre 1821. Vol. 2, pp. 192-204, in: JOUBERT, J. (ed.). *Collection de Mémoires relatifs a la Physique: Mémoires sur l'Électrodynamique*. Paris: Gauthier-Villars, 1885.
- . Mémoire communiqué à l'Académie royale des Sciences dans sa Séance du 21 novembre 1825, faisant suite au Mémoire lu dans la Séance du 12 septembre. Vol. 3, pp. 194-202, in: JOUBERT, J. (ed.). *Collection de Mémoires relatifs a la Physique: Mémoires sur l'Électrodynamique*. Paris: Gauthier-Villars, 1887.
- ASSIS, André Koch Torres. *Eletrodinâmica de Weber – Teoria, Aplicações e Exercícios*. Campinas: UNICAMP, 1995.
- BLONDEL, Christine A.-M. *Ampère et la Création de l'Électrodynamique (1820-1827)*. Paris: Bibliothèque Nationale, 1982.
- BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação do Brasil, 2000.
- BUENO, Marcelo; Assis, André Koch Torres. *Cálculo de Indutância e de Força em Circuitos Elétricos*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998. Maringá: Editora da UEM, 1998.
- CHAIB, João Paulo Martins Castro; Assis, André Koch Torres. Sobre os efeitos das correntes elétricas – Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* 5: 85-102, 2007.
- CHIAVERINA, Christopher. The Simplest Motor? *The Physics Teacher* 42 (9): 553, 2004.
- FARADAY, Michael. On some new electro-magnetical motions, and on the theory of magnetism. *The Quarterly Journal of Science Literature, and the Arts* 12: 74-96, 1821.
- . Description of an electro-magnetical apparatus for the exhibition of rotatory motion. *The Quarterly Journal of Science, Literature, and the Arts* 12: 283-285, 1822.
- . On some new electro-magnetical motions and on the theory of magnetism. Vol. 45: Lavoisier, Fourier, Faraday, pp. 795-807, in: HUTCHINS, R. M. (ed.). *Great Books of the Western World*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952. 45 vols.
- FEATONBY, D. Experiments with neodymium magnets. *Physics Education* 40 (6): 505-508, 2005.
- . Inspiring experiments exploit strong attraction of magnets. *Physics Education* 41 (4): 292-295, 2006.
- . An even simpler version of the neodymium motor. *Physics Education* 42 (3): 236, 2007.
- HOFMANN, James R. *André-Marie Ampère, Enlightenment and Electrodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- HÖTTECKE, Dietmar. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. *Science & Education* 9: 343-362, 2000.

- HÖTTECKE, Dietmar & Silva, Cibelle Celestino. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education* **20**: 293-316, 2011.
- IRESON, Gren; TWIDLE, John. Magnetic braking revisited: activities for the undergraduate laboratory. *European Journal of Physics* **29**: 745-751, 2008.
- JONES, Bence. *Faraday's Life and Letters*. London: Longmans, Green, and Co., 2a edição, 1870. 1 vol.
- LAUNAY, Louis de (ed.). *Correspondance du Grand Ampère*. Paris: Gauthier-Villars, 1936. 2 vols.
———. *Correspondance du Grand Ampère*. Paris: Gauthier-Villars, 1943. 3 vols.
- MONTEIRO, Marco Aurélio Alvaranga; GERMANO, José Silvério Edmundo; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro; GASPAS, Alberto. As atividades de demonstração e a teoria de Vigotski: um motor elétrico de fácil construção e de baixo custo. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **27** (2): 371-384, 2010.
- MUÑOZ, Agustín Martín. Motor homopolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **4** (2): 352-354, 2007.
- SCHLICHTING, H. Joachim; UCKE, Christian. Der einfachste Elektromotor der Welt. *Physik in unserer Zeit* **35**: 272-273, 2004 (a).
———. A fast, high-tech, low cost electric motor construction. Trad. de J. Williams para o inglês do artigo Der einfachste Elektromotor der Welt. *Physik in unserer Zeit* **35**: 272-273, 2004
Disponível em: < http://users.physik.tu-muenchen.de/cucke/ftp/lectures/Unipolarmotor_English.pdf >. Acesso em: 30/08/2013 data. :
- SILVA, Osmar Henrique Moura de; LABURÚ, Carlos Eduardo. Motor elétrico de Faraday: uma montagem para museus e laboratórios didáticos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **26**: 478-491, 2009.
- STEWART, Seán M. Some simple demonstration experiments involving homopolar motors. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29** (2): 275-281, 2007.
- WONG, H. K. Motional mechanisms of homopolar motors & rollers. *The Physics Teacher* **47** (7): 463-465, 2009 (a).
———. Levitated homopolar motor. *The Physics Teacher* **47** (2): 124, 2009 (b).

APRENDIENDO DE LA HISTORIA DEL RACISMO CIENTÍFICO: CONCEPTOS DE “COMPETICIÓN INTERRACIAL” Y “EXTINCIÓN DE RAZAS” EN EL DISCURSO SOBRE EVOLUCIÓN HUMANA (1859-1900)

Juan Manuel Sánchez Arteaga*
Charbel Niño El-Hani**

Resumen: *El presente artículo analiza algunos discursos inmersos en el debate biológico sobre evolución de las “razas” humanas, a fines del siglo XIX. Se pretende remarcar la función ideológica de tales discursos, como herramientas para la legitimación científica de las jerarquías raciales durante el periodo estudiado. En el contexto de la educación científica, este análisis puede servir como plataforma para un análisis crítico y equilibrado, por parte de alumnos y profesores, sobre la naturaleza del conocimiento científico, que a la vez que reconozca sus contribuciones pueda tener una valoración crítica de sus implicaciones prácticas en la vida social.*

Palabras clave: *racismo; evolución humana; antropología física; biología humana; educación.*

LEARNING FROM THE HISTORY OF SCIENTIFIC RACISM: CONCEPTS OF “INTERRACIAL COMPETITION” AND “RACIAL EXTINCTION” IN THE BIOLOGICAL DISCOURSE ON HUMAN EVOLUTION (1859-1900)

Abstract. *This paper analyzes the debates on “interracial competition” and “racial extinction” in the biological discourse on human evolution during the second half of the 19th century. Our intention is to discuss the ideological function of these biological concepts as tools for the naturalization and scientific legitimation of racial hierarchies during that period. We argue that the examination of these scientific discussions about race from a historical perspective can play the role of a critical platform for students and teachers to think about the role of science in current othering processes, such as those related to biomedical technosciences.*

Key Words: *racism; human evolution; physical anthropology; human biology; education.*

* Laboratório de Ensino, História e Filosofia da Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. Email: juanma.sanchez.arteaga@gmail.com. Endereço para correspondência: Laboratório de Ensino, História e Filosofia da Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. Av. Barão de Jeremoabo, nº 147. Campus Universitário de Ondina CEP: 40.170-290 Salvador - Bahia – Brasil.

** Laboratório de Ensino, História e Filosofia da Biologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. Av. Barão de Jeremoabo, nº 147. Campus Universitário de Ondina CEP: 40.170-290 Salvador - Bahia – Brasil. Email: charbel.elhani@pq.cnpq.br.

1. INTRODUCCIÓN

En las primeras páginas de su obra magna sobre el origen del hombre, Charles Darwin hacía un esfuerzo para introducir a sus lectores en las trascendentales cuestiones que la evolución venía a plantear, en cuanto a la naturaleza y al destino de nuestra propia especie. Llegado un momento, Darwin abordaba lo que él consideraba el asunto principal:

El investigador llegará entonces al punto importante, esto es, si el hombre tiende a incrementar su número a un ritmo tan rápido como para conducir a severos combates por la existencia y, en consecuencia, a que las variaciones beneficiosas, ya sea en el cuerpo o en la mente, se preserven, mientras que las perjudiciales sean eliminadas. ¿Las diferentes razas o especies del hombre –cualquiera que sea el término aplicado –, usurpan el puesto las unas a las otras y se reemplazan, de forma que, finalmente, algunas llegan a extinguirse? Veremos que todas estas cuestiones, de hecho resulta obvio para la mayoría de ellas, deben responderse afirmativamente, de forma igual a lo que sucede con los animales inferiores. (Darwin, 1871, v.1, p. 10)

Si bien, como es de sobra conocido, las teorías darwinistas fueron objeto de una áspera controversia dentro del propio seno de la biología decimonónica, podemos afirmar que, en términos generales, la comunidad científica contemporánea en general se mostró de acuerdo con el naturalista inglés en este particular¹. En ese sentido, los conceptos evolutivos de algunos biólogos de primerísima línea contribuyeron a mistificar científicamente las jerarquías raciales victorianas en el imaginario colectivo de la burguesía blanca decimonónica (Sánchez Arteaga 2006). Tras abordar la forma en la que la biología humana del siglo diecinueve pudo legitimar el imperialismo contemporáneo, veremos cómo, en el contexto de la educación científica, este análisis puede servir como plataforma para un análisis crítico y equilibrado, por parte de alumnos y profesores, sobre el papel jugado por la ciencia en nuestras sociedades, de forma que se consideren tanto las contribuciones como los límites (o riesgos) de sus aplicaciones prácticas.

2. LOS CONCEPTOS DE COMPETENCIA Y LUCHA POR LA EXISTENCIA EN LOS MODELOS BIOLÓGICOS SOBRE EVOLUCIÓN HUMANA

Comencemos a desarrollar nuestro argumento con un ejemplo tomado de la ciencia brasileña. En 1888, con ocasión de la primera gran Exposición Antropológica Brasileña, organizada por el *Museo Nacional de Río de Janeiro*, en la que un grupo de indios botocudos fue exhibido al público burgués como representantes de “una de las razas indígenas más brutalizadas” (Lacerda, 1882, p. 22), el brasileño Eunapio Deiró (1829-1909) señalaba que

el hombre (...) último representante perfeccionado del gorila o del mono – posee instintos brutales, ejerce largamente su facultad de destruir a los demás seres de la naturaleza (...). En su estado primitivo (...) destruía a sus semejantes con la brutalidad de los irracionales. Obedecía fatalmente a la ley inexorable de la lucha por la existencia [...]. La guerra parece inseparable del género humano (Deiró, 1882, p. 34).

¹ Siempre pueden encontrarse infinitud de excepciones a cualquier generalización histórica. Para una discusión más detallada de las teorías biológicas sobre la evolución de los distintos grupos “raciales” en el siglo XIX, cf. Sánchez Arteaga (2006).

En el último tercio del siglo XIX, ideas como las expresadas por Eunapio Deiró (1829-1909) se habían convertido en la ortodoxia biológica en numerosos países. En 1900, desde París, el alemán Ludwig Wilser afirmaba, en el duodécimo Congreso Antropológico Internacional: “El hombre (...) está sometido a las mismas leyes eternas que todos los demás organismos. Su historia no es otra cosa que la lucha entre las razas humanas (...) Sin ninguna duda, la más enérgica de todas las razas, la más ingeniosa, la más progresiva es la raza blanca” (Wilser, 1900, p. 198). Una concepción similar de la evolución biológica de nuestra especie se reflejaba en las palabras de Francisco María Tubino, Secretario General de la Sociedad Antropológica Española: “cada forma nueva debe tender, en todo país suficientemente poblado, a exterminar y suplantar sus propios menos perfectos parientes [...]. El procedimiento de extinción y [s]elección natural caminan juntos” (Tubino, 1874, p. 435).

En definitiva, para la biología humana del fin de siglo, la guerra hobbesiana del hombre contra el hombre se había convertido en el motor básico evolutivo de la hominización desde el comienzo de la historia. Sirva como nuevo ejemplo el paleoantropólogo belga Edouard DuPont (1841-1911), uno de los más acreditados defensores de que el paso del paleolítico al neolítico en Europa se produjo gracias a una eliminación étnica total de las poblaciones arcaicas: “Uno puede comprender cómo se produjo este hiatus. Hubo una invasión completa, supresión de los trogloditas” (DuPont *et al.*, 1872, p. 311). De forma parecida, las teorías de los también belgas Cornet y Briart afirmaban que la raza neolítica de la región belga del Hainaut, evolutivamente más avanzada que sus vecinas, se impuso a las demás poblaciones prehistóricas de Bélgica con un verdadero espíritu genocida: “Los hombres de Hainaut adquirieron lentamente una gran preponderancia física y moral sobre sus vecinos. Pero, como todos los pueblos en estado salvaje o de barbarie, no tardaron en abusar de esta preponderancia exterminando o reprimiendo a las poblaciones mal armadas que les rodeaban” (Cornett y Briart, 1872, p. 279).

En el esquema conceptual propuesto por la propia antropología darwiniana, el genocidio de unas variedades homínidas a manos de otras quedaba convertido en principio evolutivo de la historia biológica del género Homo. Así, durante toda la segunda mitad del siglo XIX, hasta traspasar el umbral de la nueva centuria, la política expansionista de las potencias europeas pudo recibir una justificación biológica, refrendada por los mejores antropólogos físicos de la época. En 1869, durante una de las ponencias científicas del congreso antropológico de Copenhague, el francés Analote Roujou supo sintetizar el trasfondo ideológico que podía derivarse de estas ideas con gran nitidez: “los arqueólogos pueden decir, modificando una frase célebre, que la tierra y el cielo proclaman la gloria de los indoeuropeos” (Roujou, 1875, p. 83).

3. LAS “CAUSAS BIOLÓGICAS DE LA EXTINCIÓN DE LAS RAZAS HUMANAS”

Charles Darwin dedicó todo un capítulo de su *Descent of Man*, de 1871, al problema candente de “La Extinción de las Razas del Hombre” (Darwin, 1871, 236). Allí, el naturalista inglés había aclarado que “la extinción parcial o completa de muchas razas y sub-razas humanas es un hecho conocido históricamente” (Darwin, 1871, 236). De forma implícita, la paulatina desaparición (parcial o completa) de las razas inferiores podía comprenderse como

el natural corolario darwiniano del proceso colonial contemporáneo, comprendido en términos de grupos biológicos en lucha. Al respecto de la desaparición de pueblos, proceso continuo en la historia humana, Darwin señalaba como dato curioso que Alexander von Humboldt (1769 –1859) había encontrado una vez “un loro sudamericano que era la única criatura viva que aún hablaba la lengua de una tribu extinguida” (Darwin, 1871, 236). Por lo demás, Darwin no dudaba en señalar un paralelismo biológico entre el “destino futuro” de las razas “salvajes” con el destino de ciertas variedades de “la rata nativa, casi exterminada por la rata europea” (Darwin, 1871, 240). De esta forma, Darwin se apresuró, desde la primera edición de *El origen del hombre*, a señalar la urgencia con que se debían emprender todo tipo de estudios naturalistas sobre las razas inferiores prontas a la extinción:

En un momento del futuro, sin duda no muy alejado si lo medimos por siglos, las razas civilizadas del hombre casi con toda certeza exterminarán y reemplazarán a las razas salvajes a lo largo y ancho del mundo. Al mismo tiempo, los monos antropomorfos, como ha señalado el profesor Schaafhausen, serán exterminados sin ninguna duda. La distancia entre el hombre y el animal se agrandará, puesto que se extenderá entre un hombre en estado de civilización superior, como podemos esperar, al del Caucásico actual, y algún mono tan inferior como el Babuino, en lugar de cómo actualmente, entre el negro o el Australiano y el gorila. (Darwin, 1871, 201)

Por su parte, perfectamente en armonía con el naturalista inglés, Ernst Haeckel (1834–1919), en su *Historia de la creación de los seres orgánicos según las leyes naturales*, no dudaba en pontificar, en términos exclusivamente biológicos, que la naturaleza misma era quien propiciaba que “las guerras se convirtieran naturalmente en fenómenos más y más frecuentes” (Haeckel, 1868, p. 127). De forma semejante, Ludwig Büchner – autor de uno de los grandes best-sellers científicos del periodo, *El hombre según la ciencia* –, consideraba, a propósito de la lucha interracial por la existencia, que

Los pueblos o las razas retrasadas (como los chinos o los negros americanos) no podrán sostener por mucho tiempo la competencia con el hombre civilizado [...] a menos que hagan suyos todos los auxilios que ofrece la civilización actual [...], ese movimiento civilizador general que ha formado el cerebro europeo, y [a menos que] pierdan más o menos las características de su raza. (Buchner, 1872, p. 316)

El vaticinio inexorable de la extinción biológica para numerosos pueblos indígenas era un hecho aceptado incluso por algunos de los antropólogos físicos que, como Armand de Quatrefages (1810–1892) o el español Juan Vilanova (1821-1893), más se habían destacado en la defensa de la unidad biológica de nuestra especie (monogenismo) y en la lucha contra la esclavitud – dos rasgos que también encontramos en Darwin. Para Vilanova, por ejemplo, los pueblos de la Polinesia se hallaban “próximos, o por lo menos en vías de desaparecer con prontitud” (Vilanova, 1884, p. 229). De igual forma, el pueblo bosquimano, verdadero relicto, según Vilanova, de antiguas razas paleolíticas, no tardaría en extinguirse: “los Bosquimanos de seguro no tardarán en desaparecer, no quedando de ellos sino el recuerdo de los dibujos hechos por ellos mismos en las rocas” (Vilanova, 1884, p. 226).

A su vez, la urgencia por estudiar a los salvajes de los continentes lejanos, antes de su predecible extinción futura a manos de las razas arias, estaba comenzando a dar como fruto una proliferación de descripciones científicas (etnológicas, antropométricas, etc.) sobre estos

pueblos, nunca vista hasta entonces. Gracias a este tipo de estudios técnicos, autoridades de la etnología europea como Sir John Lubbock (1834–1913), habían podido determinar con aparente certeza la existencia de una infranqueable frontera que separaba el cerebro del europeo del de las demás poblaciones: “la condición mental del salvaje es tan diferente de la nuestra que a menudo es enormemente difícil seguir lo que pasa dentro de su espíritu, o comprender los motivos que le llevan a actuar” (Lubbock, 1873, p. 6).

En este sentido, el mismo Darwin había aportado una seria justificación biológica, señalando que, en ciertos casos, el grado de autoconciencia mostrado por los salvajes podía no ser muy superior al que parecían mostrar los mamíferos más inteligentes:

¿Acaso podemos estar seguros de que un viejo perro con una memoria excelente y un cierto poder de imaginación, como reflejan sus sueños, nunca reflexiona sobre sus placeres pasados en la caza? – y esto sería una forma de autoconciencia. Y por el lado opuesto, como indica Büchner, qué bajo es el grado en que ejerce su autoconciencia, o reflexiona sobre la naturaleza de su propia existencia la extenuada esposa de un degenerado salvaje australiano, que apenas usa ninguna palabra abstracta y no puede contar más allá de cuatro. (Darwin, 1871, p. 63)

En efecto, como afirmaba Darwin, el alemán Ludwig Büchner (1824–1899) había mostrado con nitidez sus opiniones científicas al respecto del status zoológico de las poblaciones humanas consideradas “inferiores”: “Existen en la superficie de nuestra tierra hombres, pueblos enteros, formas de ser, caracterizadas por una ausencia completa de todo aquello que el europeo instruido considera como los atributos eternos y necesarios de la humanidad” (Buchner, 1872, p. 230). Como señalaba en 1881 Ladislau Netto, director del *Museo Nacional de Río de Janeiro*, muchas de esas poblaciones parecían sólo

criaturas que del hombre sólo tenían la forma y la naturaleza física; individuos que mostraban, en la casi absoluta privación de una lengua modulativa, capaz de expresar el pensamiento, en los gestos toscos y en las costumbres simiescas, buena parte del carácter de los animales con los cuáles convivían y hacían vida en promiscua ferocidad. (Netto, 1882, p.III)

En definitiva, la animalización científica del otro, encarnado por antonomasia en los pueblos no occidentales, llegó a finales del siglo XIX a su apogeo teórico, a su máximo grado de racionalización en toda la historia. A este respecto cabe recordar la afirmación del gran antropólogo físico norteamericano Josiah Nott de que la historia de los pueblos no europeos (que presumiblemente comprendía también la historia de su extinción) constituía tan sólo un capítulo de la historia natural (Nott, 1866, vol. IV, p. 103; Haller, 1995, p. 81). A fines del siglo XIX, y de acuerdo con el discurso de muchos naturalistas, el *Homo europaeus albescens*, descrito por Linneo en el siglo anterior, se esforzaba por mostrar científicamente que, en el caso de las poblaciones no arias,

Todas las diferencias llamadas específicas entre el hombre y el animal se desvanecen ante un examen severo (...) cuando uno no recurre, como se hace habitualmente, a observar únicamente a los europeos más civilizados, sino que se examinan también los tipos humanos muy próximos a la animalidad, incapaces de elevarse desde su original grosería nativa hasta la civilización. (Buchner, 1872, p. 228)

4. APRENDIENDO DE LA HISTORIA DEL RACISMO CIENTÍFICO EN LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA DE HOY

El análisis de la función ideológica de ciertos discursos científicos como los discutidos más arriba encuentra un lugar apropiado dentro de los currículos CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad). Al fin y al cabo, estos currículos pretenden fornecer instrumentos para comprender los valores, intereses y componentes ideológicos, políticos, económicos, socioculturales, ambientales y éticos envueltos en las relaciones CTS (Conrado & El-Hani, 2010), de modo a formar individuos que sean capaces de participar de modo crítico e informado en los debates sobre el desarrollo científico-tecnológico y, de ese modo, tener alguna capacidad de influencia sobre las decisiones que afectan la sociedad y están vinculadas a la ciencia y a la tecnología (Pinheiro *et al.*, 2007).

Por lo que aquí respecta, nos interesan en particular las relaciones entre esos currículos y los abordajes contextuales de la educación científica (Matthews, 1994; McComas, 2000; Lederman, 2007; Praia; Gil-Perez & Vilches, 2007), que intentan incluir en la enseñanza de las ciencias una comprensión de las dimensiones epistemológicas, históricas y socioculturales del trabajo científico.

En esta sección, proponemos algunos principios de planificación (design) para la construcción de intervenciones educativas acerca de los usos sociales del conocimiento científico y sus posibles funciones ideológicas en el contexto contemporáneo, articulando la historia del racismo científico racial dentro de un enfoque CTS.

La discusión de los principios de planificación se realizará en el ámbito de la investigación basada en el diseño de intervenciones educativas innovadoras (design-based research). Se trata del estudio del aprendizaje situado a través de un diseño sistemático, tratando de producir conocimiento a partir del desarrollo, de la aplicación y del mantenimiento de ambientes innovadores de aprendizaje (Baumgartner *et al.*, 2003). La primera etapa de un proyecto de investigación educativa realizado desde esta perspectiva se centra en el desarrollo de prototipos de intervenciones basados en teorías educativas y principios de planificación ya existentes, así como en la utilización de innovaciones tecnológicas y en una revisión de literatura (Plomp, 2010).

El primer principio de planificación de tal intervención educativa se refiere al propio uso de un abordaje CTS, con un énfasis en la historia de la ciencia, en la medida en que se trata de movilizar la historia del racismo científico para examinar el discurso biológico sobre las “razas” en la contemporaneidad.

Otro principio importante se fundamenta en que el tratamiento de las relaciones entre la biología humana y la cuestión de las razas resulte equilibrado, evitando tanto demonizar como, al contrario, hacer una apología del conocimiento científico. Si consideráramos, por ejemplo, la enseñanza de evolución – un contexto apropiado para la discusión del tema del racismo científico dentro de la enseñanza de biología –, entendemos que, antes de abordar la función ideológica del pensamiento evolutivo en relación a la cuestión de las razas, es preciso señalar las contribuciones de este pensamiento para la comprensión de cuestiones socio-científicas, a través de clases, textos y actividades. Al fin y al cabo, la enseñanza de la evolución ha sido considerada un elemento fundamental dentro de la educación para la ciudadanía, en particular, en relación a la toma de decisiones en situaciones socio-científicas específicas (Sadler, 2005).

Una vez que el valor del pensamiento evolutivo haya sido establecido, puede lanzarse una mirada al pasado para, a partir de él, plantear cuestiones que ayuden a desarrollar una evaluación crítica de la construcción del conocimiento científico en el presente. Fuentes secundarias y primarias pueden ser usadas, con las debidas adaptaciones, como recursos para el trabajo del profesor e, inclusive, como lectura para los estudiantes, de modo a abordar los asuntos discutidos en las secciones anteriores. Un trabajo cuidadoso de selección y edición de estas fuentes primarias es necesario, así como la selección de textos de historia de la ciencia que, una vez adaptados para uso de los profesores y estudiantes, permitan comprender el contexto histórico en el cuál las fuentes primarias deben ser interpretadas y comprendidas

Una vez examinada la historia de la comprensión científica sobre las razas en la segunda mitad del siglo XIX y su función ideológica, el abordaje del asunto puede moverse para el siglo XX, colocándose como un principio de diseño de intervención educativa la necesidad de considerar las transformaciones que sufrieron la biología humana y la antropología durante ese último siglo. Por ejemplo, es importante incluir, en una intervención educativa que aborde el racismo científico, la discusión sobre las implicaciones de la investigación genética contemporánea, que en las últimas décadas puso en cuestión la propia existencia de razas dentro de la especie humana (Templeton, 2003; Long & Kittles, 2003; Royal & Dunston, 2004; Koenig *et al.*, 2008. Para una crítica, véase Edwards, 2003), para la comprensión del racismo en los días de hoy.

Debemos también considerar que eso no permitiría negar la existencia de la raza como una categoría social, como base para construir y reconstruir el racismo, no obstante la negación de la propia raza desde una perspectiva biológica. Como argumentan Smedley & Smedley (2005, p. 16), “la ciencia racializada trata de explicar ciertas diferencias poblacionales en términos de salud, inteligencia, educación y renta como la consecuencia de diferencias inmutables, biológicamente fundadas, entre grupos ‘raciales’. Avances recientes en la secuenciación del genoma humano y en una mejor comprensión de los correlatos biológicos del comportamiento han alimentado esa ciencia racializada, a despecho de la evidencia de que los grupos raciales no son genéticamente discretos, ni confiablemente mensurados, ni científicamente significativos”. La persistencia implícita de un discurso o de unas prácticas racializadas o discriminatorias en la biología se hace más clara cuando consideramos ejemplos recientes de prácticas de racialización o alterización (*othering*) en las tecnociencias biomédicas del siglo XXI, como sucede, por ejemplo, al analizar la variabilidad del acceso a la asistencia sanitaria en función de diferencias de género, deficiencias físicas, en el propio estado de salud, o en la etnia, (Kitchin, 1998; Johnson *et al.*, 2004; Grove & Zwi, 2006), o cuando consideramos la fuerza renovada de la eugenia en la era post-genómica (Silver, 2007).

Para dar cuenta de los cambios del discurso racial en la antropología y en la biología del siglo XX, es necesario construir textos que recontextualicen las discusiones académicas a este respecto, de manera que puedan pasar a formar parte del conocimiento escolar. Eso implica, claro, contemplar toda una serie de transformaciones de ese discurso, que deben ser, en sí, objeto de una investigación que se valga de la construcción y puesta a prueba de los recursos didácticos asociados a intervenciones educativas. Esta recontextualización se ve ciertamente facilitada por la disponibilidad de textos periodísticos y de divulgación científica que pueden ser usados para tratar del asunto en el aula (Leroi, 2005; Schlemmermeyer, 2005; Salzano, 2007).

La investigación de los principios de diseño aquí propuestos tendrá continuidad mediante la construcción y puesta a prueba de intervenciones educativas basadas en esos mismos principios, por medio de una colaboración estrecha entre investigadores educativos y profesores de enseñanza secundaria². Esta investigación podrá contribuir, a nuestro modo de ver, para situar dentro de la escuela una discusión sobre cómo la era post-genómica pone en escena “intensas y abundantes formas de relación entre ‘naturaleza/genética’ y ‘cultura/sociedad’, en las cuáles el ADN aparece como actor saliente en una disputa entre modalidades de interpretar y transformar las realidades sociales y políticas” (Santos & Mayo, 2004), y dentro de las cuáles una comprensión crítica de las relaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad se hace crucial para la educación científica de las nuevas generaciones de estudiantes.

5. CONCLUSIONES

Hacia 1870, después de haber sido literalmente cazados con rifles de batida durante años por parte de los colonos ingleses, se extinguieron los últimos tasmanos. Los cuatro últimos supervivientes de tan salvaje etnocidio fueron llevados a Gran Bretaña, donde se les estudió y exhibió como a bestias de zoológico, hasta que finalmente murieron sin que quedara más rastro de aquel pueblo que un puñado de esqueletos en varios museos europeos. Se extinguieron. Ese “extinguieron” – término empleado por la ciencia biológica del momento para describir el exterminio (Hillier Giglioli, 1874) – trocó simbólicamente el genocidio en un resultado fatal de las leyes de la Naturaleza. Quizá señalando la importancia, dentro de la ciencia del periodo, de este tipo de conceptos evolucionistas que explicaban la divergencia y la jerarquización biológica de los caucasianos sobre el resto de los grupos humanos (basándose, como vimos, en los conceptos de “competición interracial” y de “extinción natural de las razas inferiores”), hayamos contribuido a comprender un poco mejor la función ideológica de la biología humana decimonónica. Sin embargo, la cuestión que planteamos atañe a las funciones ideológicas del discurso científico contemporáneo sobre las razas, en la medida en que no hay razones para pensar que, de algún modo, la ciencia podría haber sido purgada de todas sus conexiones ideológicas en el siglo XX. De esta perspectiva, procuramos elaborar, en la última sección del artículo, algunos principios para el diseño de intervenciones educativas que, más allá de un discurso simplista en relación a la ciencia, cree condiciones para que profesores y alumnos utilicen la historia del racismo científico como una plataforma para pensar críticamente la ciencia, abarcando sus contribuciones y riesgos, sus relaciones con la calidad de vida y el bienestar, así como con las relaciones de poder y dominación de los seres humanos.

² A partir da pesquisa discutida no presente artigo, podem ser desenvolvidas - como temos feito no momento - sequências didáticas aplicáveis a salas de aula de Biologia e de outras disciplinas do Ensino Médio, como História, bem como à formação de professores. No desenvolvimento de tais intervenções, será preciso construir e investigar materiais instrucionais de modo a examinar se eles se mostram adequados aos objetivos de ensino e ao contexto pedagógico em que se pretende que sejam usados, bem como se eles mobilizam discussões relevantes sobre a natureza da ciência.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUMGARTNER, Eric; BELL, Philip; BROPHY, Sean; HOADLEY, Christopher; HSI, Sherry; JOSEPH, Diana; ORRILL, Chandra; PUNTAMBEKAR, Sadhana; SANDOVAL, William; TABAK, Iris. Design-based research: an emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher* **32**: 5-8, 2003.
- BÜCHNER, Louis. *L'Homme selon la Science. Son passé, son présent, son avenir, ou D'où venons-nous? - Qui sommes-nous? Où allons-nous?* Paris: C. Reinwald et Cie, 1872.
- CONRADO, Dalia Melissa; EL-HANI, Charbel N. Formação de cidadãos na perspectiva CTS: reflexões para o ensino de ciências. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, outubro, 2010 Curitiba. *Anais...* Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), 2010.
- CORNETT, François; BRIART, Alphonse. Sur l'âge de la pierre polie et les exploitations préhistoriques de Silex dans la province de Hainaut. CONGRES INTERNATIONALE D'ANTHROPOLOGIE ET D'ARCHEOLOGIE PREHISTORIQUES, Agosto, 1872, Bruxelles. *Anais...* Bruxelles: Académie Royale de Belgique, 1872. P. 279-299.
- DARWIN, Charles. *The descent of man, and selection in relation to sex*. 2 vol. London: John Murray, 1871.
- DEIRÓ, Eunapio. A luta pela Existencia e os costumes guerreiros. *Revista da Exposição Antropológica Brasileira* : pp. 18-19, 1882.
- DUPONT, Edouard; HAMY, E. VIRCHOW, Rudolf, LAGNEAU, G. Discussion sur les cranes de Furfooz.
- CONGRES INTERNATIONALE D'ANTHROPOLOGIE ET D'ARCHEOLOGIE PREHISTORIQUES, Agosto, 1872, Bruxelles. *Anais...* Bruxelles: C. Muquard, 1872. P. 311-333; 315-319.
- EDWARDS, A. W. F. Human genetic diversity: Lewontin's fallacy. *BioEssays* **25** (8): 798-801, 2003.
- GROVE, Natalie J.; ZWI, Anthony B. Our health and theirs: Forced migration, othering, and public health. *Social Science & Medicine* **62**: 1931-1942, 2006.
- HAECKEL, Ernst. *Histoire de la Création des Êtres Organisés d'après les lois naturelles*. Paris: Librairie C. Reinwald, Schleicher Frères ed., 1868.
- HALLER, John. *Outcasts from evolution. Scientific attitudes of racial inferiority 1859-1900*. Illinois: Southern Illinois Univ. Press, 1995
- HILLIER GIGLIOLI, Enrico. *I Tasmaniani. cenni storici ed etnologici di un popolo estinto*. Milano: Fratelli Treves, 1874.
- KITCHIN, Rob. 'Out of place', 'knowing one's place': Space, power and the exclusion of disabled people. *Disability and Society* **13** (3): 343-356, 1998.
- KOENIG, Barbara A.; LEE, Sandra Soo-Jin; RICHARDSON, Sarah S. (eds.). *Revisiting Race in a Genomic Age*. Piscataway: Rutgers University Press, 2008.
- JOHNSON, Joy L.; BOTTORFF, Joan L.; BROWNE, Annette J.; GREWAL, Sukhdev; HILTON, B. Ann & CLARKE, Heather. Othering and being othered in the context of health care services. *Health Communication* **16** (2): 255-271, 2004.
- LACERDA, João. A morfologia craneana do homem dos sambaquis. *Revista da Exposição Antropológica Brasileira* : pp. 22-23, 1882.

- LEDERMAN, Norm G. Nature of science: Past, present, and future. Pp. 831-880, *in*: Abell, S. K.; Lederman, N. G. (eds.). *Handbook of Research on Science Education*. New York: Routledge, 2007.
- LEROI, Armand Marie. A Family Tree in Every Gene. *The New York Times*, 13-03-2005, 2005. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2005/03/14/opinion/14leroi.html>. Acesso em 23 outubro de 2010.
- LONG, Jeffrey C.; KITTLES, Rick A. Human genetic diversity and the nonexistence of biological races. *Human Biology* **75** (4): 449-71, 2003.
- LUBBOCK, John. *Les origines de la Civilisation. État primitif de l'Homme et mœurs des sauvages modernes*. Paris: Librairie Germer-Baillière, 1873.
- MATTHEWS, Michael R. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, William F. (ed.). *The Nature of Science in Science Education*. Dordrecht: Kluwer, 2000.
- NETTO, Ladislau. Ao lector. *Revista da Exposição Antropológica Brasileira*.: pp. III-VI, 1882.
- NOTT, Josiah C. The Negro Race. *Anthropological Review* **IV**; pp. 103-116, 1866.
- PINEIRO, N. A., SILVEIRA, R. M., & BAZZO, W. A.. A relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. *Ciência & Educação*, 13(1): 71-84, 2007
- PLOMP, Tjeerd. Educational design research: An introduction. Pp. 9-35, *in*: Plomp, Tjeerd; Nieveen, Nienke (eds.). *An Introduction to Educational Design Research*. Enschede: SLO – Netherlands Institute for Curriculum Development, 2010.
- PRAIA, João; GIL-PEREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação* **13** (2): 141-156, 2007.
- ROYAL, Charmaine D. M.; DUNSTON, Georgia M. Changing the paradigm from 'race' to human genome variation. *Nature Genetics* **36** (11suppl.): S5-S7, 2004.
- ROUJOU, Anatole. L'âge de la Pierre polie à Villeneuve-St.Georges (Seine). In: CONGRES INTERNATIONAL D'ANTHROPOLOGIE ET D'ARCHEOLOGIE PREHISTORIQUES, Agosto, 1875, Copenhage. *Anais...* Copenhage: Société Royale des Antiquaires du Nord, 1875. P. 61-84.
- SADLER, Troy D. Evolutionary theory as a guide to socioscientific decision-making. *Journal of Biological Education* **39** (2): pp. 68-72, 2005.
- SALZANO, Francisco M. O conceito de raça a partir da biologia e da sociologia. *Genética na Escola* **02** (1): 1-2, 2007.
- SÁNCHEZ ARTEAGA, Juanma. *Las teorías biológicas sobre el origen de las razas humanas (1859-1900). Elementos para una crítica antropológica de la racionalidad tecnocientífica*. Madrid: U.A.M, 2006.
- SÁNCHEZ ARTEAGA, Juanma; EL-HANI, Charbel N. () Othering Processes and STS Curricula: From Nineteenth Century Scientific Discourse on Interracial Competition and Racial Extinction to Othering in Biomedical Technosciences. *Science & Education* (21) 5: 607-629, 2012.
- SANTOS, Ricardo Ventura; MAIO, Marcos Chor. Qual "retrato do Brasil"? Raça, biologia, identidades e política na era da genômica. *Mana* **10** (1): 61-95, 2004.

- SCHLEMMERMEYER, Thomas. Cotas em debate: novos embasamentos científicos são precisos? *Jornal da Ciência* 2764, 2005. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=27888>. Acesso em: 23 outubro de 2010.
- SILVER, Lee M. *Remaking Eden: How Genetic Engineering and Cloning will Transform the American Family*. New York: Harper Perennial, 2007.
- SMEDLEY, Audrey; SMEDLEY, Brian D. Race as biology is fiction, racism as a social problem is real: Anthropological and historical perspectives on the social construction of race. *The American Psychologist* **60** (1): 16-26, 2005.
- TEMPLETON, Alan R. Human Races in the Context of Recent Human Evolution: A Molecular Genetic Perspective. Pp. 234-257, in: Goodman, A. H.; Heath, D.; Lindee, M. S. (eds.). *Genetic Nature/Culture: Anthropology and science beyond the two-culture divide*. Berkeley: University of California Press, 2003.
- TUBINO, Francisco María. Darwin y Haeckel. *Revista de Antropología* **1**: 238-257; 356-386; 401-429; 481-497, 1874.
- VILANOVA, Juan. *Los congresos científicos de Chalons, Berna, París, Lisboa y Argel*. Madrid: Imp. del Colegio Nacional de Sordomudos y de Ciegos, 1884.
- WILSER, Ludwig. Migrations préhistoriques. CONGRES INTERNATIONALE D'ANTHROPOLOGIE ET D'ARCHEOLOGIE PREHISTORIQUES, 1900, Paris. *Anais...* Paris: Masson et Cie ed., libraires de l'Académie de Médecine, 1900. Pp. 198-200.

ARRHENIUS AND ARMSTRONG: HOW ACTIVE OPPONENTS IN THE HISTORY OF CHEMISTRY BECAME MAJOR CONTRIBUTORS TO MODERN ELECTROLYTE CHEMISTRY

Kevin C de Berg*

Abstract: *In the late 19th and early 20th centuries Svante Arrhenius and Henry Armstrong understood the dissolution process of salts in water quite differently. Arrhenius saw the dissolution process as one whereby the salt partially dissociated into its ions and Armstrong saw the dissolution process as one whereby the salt associated itself with water. History is somewhat kinder to Arrhenius than it is to Armstrong in that Arrhenius won the Nobel Prize for Chemistry in 1903 for his electrolytic dissociation theory whereas Armstrong was considered somewhat of a ‘hot air balloon’ who made it his business to oppose every new thought in chemistry. In the 1920’s Arrhenius’ view of partial dissociation was replaced by a view of total dissociation for strong electrolytes with activity and osmotic coefficients being used to account for non-ideal solution behaviour. However, recent research has shown that strong 1:1 electrolytes are best understood by using Arrhenius’ original idea of partial dissociation rather than total dissociation and Armstrong’s idea of hydration. This strange confluence of factors has important implications for chemical epistemology and its role in chemistry education.*

Keywords: *Ionic Dissociation; Hydration; Electrolytes; Chemistry Controversy*

1. INTRODUCTION

Recently 142 students studying first-semester chemistry as part of their degree course were asked to respond to a series of multiple-choice questions, which involved sub-microscopic representations of aqueous solutions. One of these questions, reproduced in Figure 1, tested a student’s understanding of what happens when salt dissolves in water. Alternative (a) partially represents what Henry Armstrong (1848-1937) would have suggested towards the end of the 19th century: a model showing the sodium chloride particles staying intact in the dissolution process. To Armstrong, the circles would have represented atoms not ions, and the particles of salt would have become associated with water particles. Alternative (b) is most consistent with the complete dissociation view developed in the 1920’s by Peter Debye (1884-1966), Erich Huckel (1895- 1980), and Lars Onsager (1903-1976): a model showing sodium chloride completely splitting up into sodium ions and chloride ions. Alternative (c) most closely resembles the partial dissociation view espoused by Svante

* Avondale College, PO Box 19, Cooranbong, NSW 2265, Australia. Email kevin.deberg@avondale.edu.au

Arrhenius (1859-1927): a model showing sodium chloride partially splitting up into sodium ions and chloride ions; the extent of dissociation increasing with dilution. Alternative (d) was a distractor. The percentage of students who chose these alternatives was as follows: 51% chose (a); 36.6% chose (b); 9% chose (c); and 1.4% chose (d). Those students who chose alternative (b) tended to have a reasonable chemistry background and those students who chose alternative (a) tended to have a poor chemistry background. Alternative (b) is the model emphasized in school and university education whereas alternative (c) is restricted to weak electrolytes in school and university education. One could argue that alternative (a) is more intuitive than the other alternatives given that most of the students who chose this alternative had not experienced in any detail a chemist's view of what happens when salt dissolves in water. An examination of the views of Henry Armstrong now follows.

Common salt is easily dissolved in water. The chemical name for common salt is sodium chloride, where sodium ions and chloride ions are bound together. Ions are charged atoms or groups of atoms. In what follows:

A sodium chloride particle will be represented as: 

A sodium ion will be represented as: 

A chloride ion will be represented as: 

Which one of the following alternatives best represents what happens when **four** sodium chloride particles are dissolved in water? Again, water will not be shown for the purpose of clarity.

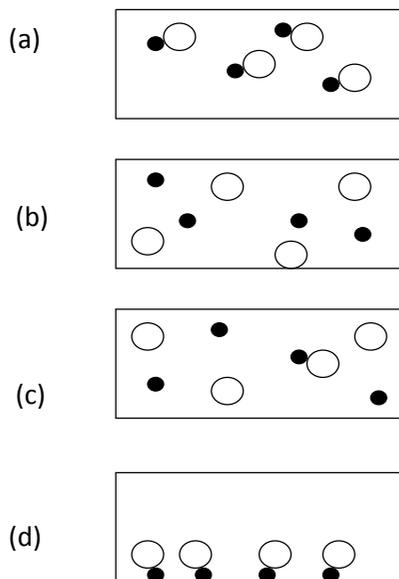


Fig. 1: A question on the nature of an aqueous salt solution using a sub-microscopic representation.

2. HENRY ARMSTRONG

Armstrong's understanding of what took place when salt dissolves in water reflected the classical belief that the formation of a compound with water was responsible for its solubility. Hydrated salts such as Glauber's salt, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, were understood to be examples of this process. It is arguably the case that two of the strongest personal influences on Armstrong's education in chemistry were that of Edward Frankland (1825-1899) and Hermann Kolbe (1818-1884), two great laboratory researchers. Brock (1973, p. 8) maintains that, "Frankland and Kolbe....made Armstrong a critical and passionate believer in self-education through laboratory research". Throughout his career Armstrong was to maintain a strong belief that the data of chemistry belonged to the chemistry laboratory bench and he vehemently resisted the intrusion of the physicist's apparatus into the domain of chemistry.

Early in the 20th century Max von Laue targeted a single crystal of sodium chloride with X-rays and took a photograph of the diffracted beam. A model of the photograph is drawn in Figure 2.

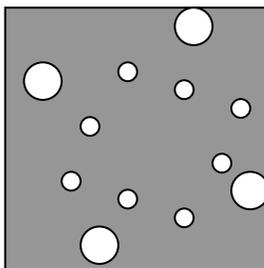


Fig. 2: A drawing of the Laue photograph of NaCl.

When William Bragg (a physicist) studied the X-ray diffraction photograph (a physicist tool at the time) and suggested that the X-ray pattern was consistent with an organised cubic structure of sodium and chloride ions (shown in Figure 3), Armstrong was incensed with such an intrusion into chemistry. He was adamant in saying, "It were time that chemists took charge of chemistry once more and protected neophytes against the worship of false gods: at least taught them to ask for something more than chess-board evidence" (Armstrong, 1927a, p. 478).

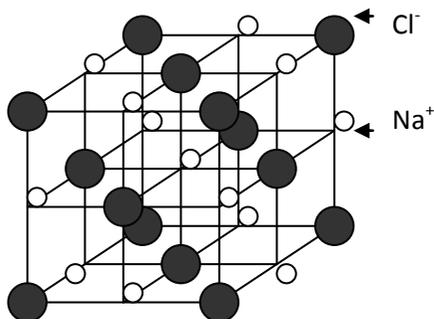


Fig. 3: The cubic structure of sodium chloride suggested by Bragg.

It was not only the intrusion of physics into chemistry that aggravated Armstrong, it was the suggestion that common salt was not molecular. To Armstrong the three-dimensional lattice model for sodium chloride was, “repugnant to common sense, absurd to the nth degree, not chemical cricket. Chemistry is neither chess nor geometry whatever X-ray physics may be. Such unjustified aspersion of the molecular character of our most necessary condiment must not be allowed any longer to pass unchallenged. A little study of the Apostle Paul (that science is the pursuit of truth) may be recommended to Professor Bragg as a necessary preliminary even to X-ray work” (Armstrong, 1927a, p. 478). This little episode should highlight the fact that data is not universally interpreted in the same way. In fact, some data may be ignored because it is seriously questioned by some parts of the scientific community. The same data, however, may be acceptable to another part of the scientific community. To Armstrong, making the transition from a chessboard photograph (as he called it) like that shown in Figure 2 to a structure like that shown in Figure 3 was ludicrous.

Arrhenius interpreted the property of electrical conductivity of aqueous salt solutions in terms of the presence of free ions in the solution produced from the partial dissociation of the salt particles in solution. Armstrong (1896, p. 78) objected to the idea of dissociation and called the new theory the “non-sensical hypothesis of ionic dissociation.....It asserts that (sodium chloride) is so loosely strung together that (it) falls to pieces when dissolved in water. No valid motive is suggested for such self-sacrifice”. How the particles in solution came to be charged was also a point of controversy. Arrhenius believed that the charges came from the dissociation process itself but Armstrong contended that the external electric field must have been responsible for charging the solution leading to a conductivity. When William and Laurence Bragg suggested that charged particles (ions) were already present in the salt structure and the role of water was simply to separate the ions already present the basis of Armstrong’s opposition was weakened somewhat. This may be why his objections were so strong.

In spite of the fact that Walter Gratzer (1996, p. 123) described Armstrong as a, “hot-air balloon who hovered over the scientific scene in England for about seventy years”, Armstrong did make a significant contribution to solution chemistry, a fact that is rarely acknowledged. While Arrhenius, van’t Hoff, and Ostwald (the ionists) focussed on the action of the solute in the solution process, Armstrong claimed that water must have some part to play in such a process. When van’t Hoff showed that the osmotic pressure of a dilute aqueous solution obeyed an equation analogous to the ideal gas law, he interpreted the pressure in terms of the bombardment of solute particles on the membrane because kinetic theory suggested that gas pressure was due to the bombardment of gas molecules on the walls of the containing vessel. Armstrong took the view that the pressure was due to, “molecules of hydrone (H_2O), not of molecules of the dissolved substance... (the osmotic pressure) is rather to be regarded as of the order of hydraulic than of gaseous pressure” (Armstrong 1927b, p. 311). Later studies on osmotic pressure (see deBerg, 2006a) did reveal that the pressure arises from the different activities of water (determined from the water vapour pressure) on either side of the membrane confirming an important place for water in this process.

It is known that dissolving salt in water reduces the equilibrium water vapour pressure. Armstrong interpreted this phenomenon in terms of, “the proportion of *free* hydrone (H_2O) molecules present in the liquid. The diminution of the pressure when a substance is dissolved

in water, therefore, is a proof that the molecules of hydrone are concerned in the change and are thereby diminished in proportion" (Armstrong 1927b, p. 312). The ionists, however, suggested that water vapour depression in aqueous solutions was more a function of the solute dissociation than of the influence of water. This was because of the similarity of the effect with other properties such as electrical conductivity and freezing point depression. This leads us to consider the contribution of the ionists, in particular, Svante Arrhenius.

3. SVANTE ARRHENIUS

It was the effect of dilution on molar conductance of salt solutions that suggested to Arrhenius that there was an equilibrium between the undissociated salt (what he called the inactive part) and the dissociated salt (what he called the active part). Dilution increased the molar conductance until a limiting value was reached. Arrhenius understood dilution to increase the fraction of salt that dissociated with complete dissociation occurring only at infinite dilution. The dissociated species came to be understood as the positive and negative ions derived from the salt. This idea of partial dissociation was first published in 1887 (Arrhenius, 1887) but received significant criticism from a group of English chemists, as well as from Professor Cleve who supervised the research. A third class pass for his doctorate suggested that Arrhenius would not be eligible to gain an academic appointment at an established university. Ironically, with significant support from European scientists such as Wilhelm Ostwald and Jacobius van't Hoff, Arrhenius was eventually awarded the Noble Prize in 1903 which really launched his career. How did this view of ionic dissociation come to receive so much support given the initial criticisms (from his Swedish colleagues) and the ongoing criticisms (from Armstrong and other English chemists) of the theory? Details are given in de Berg (2003) but a brief summary will be given here.

It was the accumulation of evidence from a range of studies which seemed to lend support to the idea of partial dissociation. Just two will be mentioned here; that of the molecular lowering of the freezing point for aqueous and non-aqueous solutions (Raoult 1882a; 1882b; 1884) and that for water vapour pressure lowering for 0.5 mol of solute in a kilogram of water (Tamman, 1887; Arrhenius, 1902). A small selection of data from both pieces of evidence is given in Table 1. The data for the molecular lowering of the freezing point is based on the dissolution of one mole of solute in 100 g of water. In the case of methyl alcohol this means that dissolving one mole of the alcohol in 100 g of water would lower the freezing point by 17.3⁰C, or, dissolving one mole in a kilogram of water would lower the freezing point by 1.73⁰C. It can be calculated that the lowering factor should be 18.6 in a case where there is no dissociation. The approximate doubling effect for potassium hydroxide and sodium chloride was taken to indicate that twice as many particles were present in solution as was initially dissolved and the approximate tripling effect for calcium chloride was taken to indicate that three times as many particles were present in solution as were initially dissolved. Deviations from the expected doubling effect ($2 \times 18.6 = 37.2$) and tripling effect ($3 \times 18.6 = 55.8$) were taken by Arrhenius to indicate partial dissociation rather than complete dissociation. This was understandable to Arrhenius in that his interpretation of the molar conductance data for aqueous salt solutions indicated that complete dissociation could only be expected at infinite

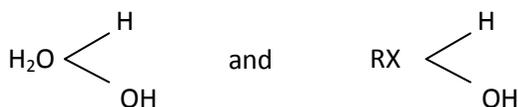
dilution.

Table 1: Selected data for Freezing Point Molecular lowering (Raoult, 1882a; 1882b; 1884) and Water vapour pressure lowering (Tamman, 1887; Arrhenius, 1902) for a variety of aqueous solutions.

Molecular Lowering of Freezing Point of aqueous solutions	
Methyl alcohol	17.3
Cane sugar	18.5
Potassium hydroxide	35.3
Sodium chloride	35.1
Calcium chloride	49.9
Copper sulphate	18.0
Water vapour pressure (mm Hg) lowering for 0.5 mol solute in 1 kg of water	
Lactic acid	6.5
Succinic acid	6.2
Sodium chloride	12.3
Potassium hydroxide	15.0
Aluminium chloride	22.5
Calcium chloride	17.0

A similar trend is evident in the water vapour pressure lowering data in Table 1. A vapour pressure lowering of 6.8 mm Hg can be calculated assuming no dissociation. The approximate doubling effect for sodium chloride and potassium hydroxide was taken as evidence for the presence of twice as many particles in solution as was dissolved and the approximate tripling effect for calcium chloride was taken as evidence for the presence of three times as many particles in solution as was dissolved. Again, deviations from the expected doubling effect ($2 \times 6.8 = 13.6$) and tripling effect ($3 \times 6.8 = 20.4$) were taken as evidence for partial dissociation.

The English chemists were rather aghast at this kind of reasoning and concluded that, "chemists have permitted themselves to be run away with by a smattering of quasi mathematics and an overpressing of empirical formulae" (Armstrong, 1928, p.51). To them, the data was not tight enough to press the case for partial dissociation and in addition, there appeared to be some inconsistencies. One might consider that the molecular lowering factor for copper sulphate (18.0) should have been double its recorded value in Table 1 given the fact that it, like sodium chloride, should dissociate into two particles. The value of 18.0 suggested no dissociation was occurring. It was not until it was recognized that the higher charge on the copper ion and the sulphate ion could lead to ion pairing that this anomaly was understood. Armstrong must have eventually agreed that there was a bimolecular effect in solutions like sodium chloride (RX) but he (Armstrong 1927b, p. 313) attributed the bimolecular effect to the formation of the solvent species:



rather than the dissociation into two ions, Na^+ and Cl^- .

When Arrhenius left Sweden for Germany some time after his great disappointment in 1884 he found the laboratories of Wilhelm Ostwald (1853-1932) a welcome reprieve from what he considered to be the indifference of his homeland. Ostwald was an avid experimenter who was greatly interested in Arrhenius' work. He showed that dissociation of organic acids obeyed Guldberg and Waag's law [$K = \alpha^2 m / (1 - \alpha)$] for different concentrations of the acid. In this equation, K is the equilibrium constant and α is the fraction of acid dissociated taken as the ratio of the molar conductivity at molality m divided by the molar conductivity at infinite dilution (Λ / Λ_o). However, when it came to salts like the alkali halides the ratio, $\alpha^2 m / (1 - \alpha)$, was not constant for different values of m . This is illustrated in Table 2 for acetic acid (CH_3COOH) and sodium chloride (NaCl). Consequently salts like sodium chloride came to be regarded as completely dissociated (strong electrolytes), since (Λ / Λ_o) values were close to 1 and the idea of K appeared to be meaningless, while organic acids like acetic acid for which the Ostwald dilution law held were classified as weak electrolytes (partially dissociated) since (Λ / Λ_o) values were much less than 1. Thus Arrhenius' idea of partial dissociation was applied only to weak electrolytes. Strong electrolytes like sodium chloride were considered to be wholly dissociated while Arrhenius believed that total dissociation only occurred at infinite dilution. This leads us now to consider the role of Debye, Huckel, and Onsager and their treatment of strong electrolytes.

Table 2: Molar conductivities and values for, $\alpha^2 c / (1 - \alpha)$, for CH_3COOH and NaCl over a range of concentrations.

Substance	$c / \text{mol L}^{-1}$	$\Lambda / \text{mS m}^2 \text{mol}^{-1}$	$\Lambda_o / \text{mS m}^2 \text{mol}^{-1}$	$\alpha = (\Lambda / \Lambda_o)$	$\alpha^2 c / (1 - \alpha)$
CH_3COOH	0.1	0.52	39.1	0.0133	1.79×10^{-5}
CH_3COOH	0.01	1.6	39.1	0.0409	1.75×10^{-5}
CH_3COOH	0.001	4.8	39.1	0.1228	1.72×10^{-5}
NaCl	0.1	10.67	12.65	0.8435	0.4545
NaCl	0.01	11.85	12.65	0.9368	0.1388
NaCl	0.001	12.37	12.65	0.9779	0.0432

4. DEBYE, HUCKEL, AND ONSAGER

Raoult's Law for dilute aqueous solutions was first proposed by the French chemist Francois Marie Raoult (1830-1901) in papers published between 1886 and 1888. The law can be stated in a number of different ways. For our purposes we will state the law in the form:

$$(p^0 - p_w) / m p^0 = \text{a constant}$$

The constant was regarded as independent of concentration and solute dissolved in water. In the equation, p^0 represents the water vapour pressure over pure water, p_w represents the water vapour pressure over the aqueous solution, and m represents the molality of the solute, that is, the moles of solute dissolved per kilogram of solvent. Raoult (1887, p. 1431) found, for example, that a constant value of 1.85×10^{-2} applied to the dissolving of sucrose, glucose,

tartaric acid, citric acid, and urea in water. When it came to dissolving sodium chloride in water however, a constant value of approximately double the value of 1.85×10^{-2} was obtained. The fact that the constants obtained were a little less than double the glucose constant was considered by Arrhenius to be evidence for the partial dissociation of the salt in water. Raoult (1891, p. 297) agreed with this assessment of the situation when he noted that, "The exceptions in aqueous solution (for salts) are explained by the theory of electrolytic dissociation". However, as already pointed out, the problem with the partial dissociation model for salts like sodium chloride was that it was difficult to assign an equilibrium constant to the dissociation. The solution adopted in the early 20th century was to consider the salt to be completely dissociated.

Since the 1920's strong electrolytes like aqueous sodium chloride have been described using the Debye-Huckel-Onsager theory which considers the salt to be completely dissociated and deviations from what might be called ideal behaviour such as described by Raoult's Law to be due to interaction effects between the ions and between the ions and solvent. The approach employs concepts like ionic strength and correction factors like the activity coefficient and osmotic coefficient. As an example of this consider values of $(p^0 - p_w)/mp^0$ for different molalities of sodium chloride in water and how a calculated activity coefficient can be used to bring the constant close in line to double the value 1.85×10^{-2} , the value shown to apply to solutes like glucose in water. The data is shown in Table 3. The way that γ_{calc} is used in Table 3 can be seen to be acting more like an empirical 'fudge' factor to bring experiment into line with theory. Debye, Huckel, and Onsager have made some very brave attempts to provide physical significance to correction factors like γ .

Table 3: Vapour pressure lowering data for NaCl in water: m = molality/mol.kg⁻¹; p^0 = vapour pressure of pure water/ mmHg; p_w = water vapour pressure over solution/mmHg; $p^0 = 23.753$ mm Hg; γ_{calc} = calculated activity coefficient.

m	p_w	$(p^0 - p_w)/(mp^0)$	γ_{calc}	$(p^0 - p_w)/(\gamma_{calc}mp^0)$
0.1	23.6733	0.0335	0.9054	0.0370
0.2	23.5953	0.0332	0.8973	0.0370
0.3	23.5176	0.0330	0.8919	0.0370
1.0	22.9658	0.0331	0.8946	0.0370
2.0	22.1283	0.0342	0.9243	0.0370

In the 1990's this approach was severely criticised because the expressions for the correction coefficients were becoming so complicated that they lacked any physical significance as far as the molecular properties of the solution were concerned (Darvell & Leung, 1991; Franks, 1991; Wright, 1991). For example, Hamer & Wu (1972, p. 1050) give the following expression for the activity coefficient, γ :

$$\log \gamma = -|z_+z_-| A\sqrt{I} / (1 + B^*\sqrt{I}) + \beta I + CI^2 + DI^3 + \dots$$

and comment that, "The constants C , D , etc as well as B^* and β are taken as empirical and are not considered to have physical significance..." Heyrovská (1991; 1996; 1997; 2006) responded to these criticisms by suggesting that the properties of strong 1:1 electrolytes are better described by using the original Arrhenius concept of partial dissociation and the concept of

ionic hydration. No theoretical or empirical correction coefficients were required under these conditions. A deeper physical understanding of the molecular properties of the solution was thus possible. In this paper we wish to focus on Raoult's law and how the Heyrovska model enhances the significance of this law.

5. HEYROVSKA

The mathematical approach used in the Heyrovska technique for understanding the properties of aqueous salt solutions has been detailed elsewhere (de Berg, 2008). In this paper the technique is discussed qualitatively. What is intriguing about the approach is that it employs Arrhenius' original partial dissociation model for salt solutions and the concept of hydration number and the distinction between free and bound water molecules at the surface and in the bulk. It will be recalled that it was Armstrong who suggested that the water vapour partial pressure was related to 'free hydrone' or free water molecules. In other words, the Heyrovska model of aqueous salt solutions combines the contribution of Arrhenius and his bitter opponent Armstrong.

Raoult's Law can be expressed in another way to that discussed previously. It can be shown that the water vapour pressure above a dilute aqueous solution of a salt is proportional to the mole fraction of water in the solution. The relationship breaks down at medium to high concentrations and typically activity coefficients have been used, as described previously, to correct for the deviations. Heyrovska has shown that if one considers the mole fraction of free water molecules at the surface as opposed to the mole fraction of water in the solution, then water vapour partial pressure above the solution is proportional to the mole fraction of free water molecules at the surface N_{Afs} . This result is shown in Figure 4.

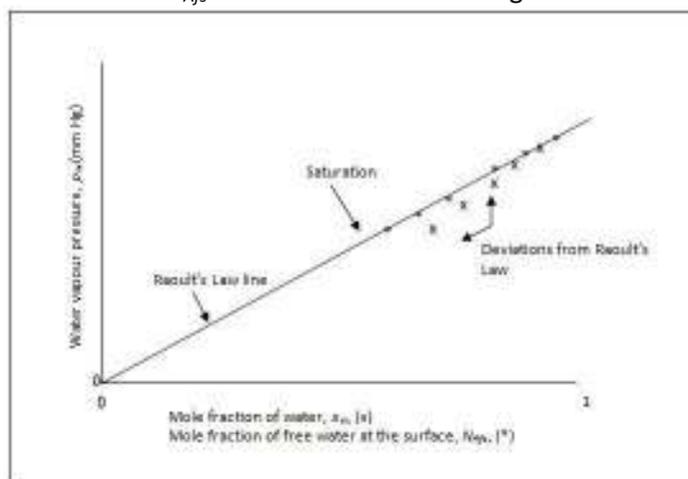


Fig. 4: Raoult's Law plot of p_w against x_w and N_{Afs} .

It is remarkable that the law holds up to nearly saturation. Partial dissociation and hydration are known physical characteristics and can be used to understand the properties of solutions without recourse to sophisticated empirical correction factors which lack a physical basis. This is an amazing story in the history of science where Arrhenius' ideas which focussed

on dissociation and the solute has come together with Armstrong's ideas which focused on association and the solvent to help provide a more convincing picture of an aqueous salt solution.

6. IMPLICATIONS FOR SCIENCE EDUCATION

The late 19th century and early 20th century controversy between the English chemists, of whom Henry Armstrong is a good example, and the Continental chemists, of whom Svante Arrhenius is a good example, forms the backdrop for enhancing argumentation in the classroom. Details have been published elsewhere (de Berg, 2006b) but the historical criticisms and counter criticisms are reproduced here in Table 3. The scenarios can be adapted to apply to high school or university chemistry.

Table 3: A summary of the criticisms and counter criticisms of the Dissociation and Association models of solution of a salt in water.

Criticisms of Dissociation	Response to the Criticisms
1. Expect yellow pungent chlorine gas and reactive sodium which would react violently with water. None of these are formed.	1. Chlorine gas, Cl ₂ , is a different chemical species to a chloride ion, Cl ⁻ , or a chlorine atom, Cl. Sodium metal, Na, is a different chemical species to a sodium ion, Na ⁺ .
2. Opposite charges attract. Wouldn't the attractive forces between a Na ⁺ ion and a Cl ⁻ ion be so strong that they would combine again to produce the neutral salt?	2. The presence of water helps to reduce this force of attraction. So, as long as the solution is dilute one might expect these ions to exist independently.
3. How does water produce these powerful ionic charges in the first place?	3. Water doesn't produce the charges. The charges already exist in the solid salt. Water just allows the charges to separate.
Criticisms of Association	Response to the Criticisms
1. A salt solution conducts electricity which suggests that (+) and (-) charges must be present in solution. The Association model shows no charges to explain this conductivity.	1. The charges are produced by the effect of the external battery on the solution and not by spontaneous dissociation of the salt.
2. Dissociation can explain a higher freezing point depression for salt solutions in terms of an increase in the number of solute particles. How can Association explain this enhanced depression effect for salts?	2. Association can explain this enhanced effect in terms of an increase in the number of free water molecules that become bound to the salt.
Criticism of Dissociation and Association	Response to the Criticism
1. Dissociation suggests an endothermic solution process and Association suggests an exothermic solution process. How can either model explain the fact that some salts dissolve exothermically and some endothermically?	1. Solution of a salt in water involves both dissociation into ions and association of those ions with water.

The linking of Arrhenius' and Armstrong's ideas enhances one's understanding of the thermodynamics of aqueous salt solutions. Calculated data for the alkali chlorides are shown in Table 4. Equilibrium water vapour partial pressures (p_w) were obtained from Hamer and Wu (1972, pp. 1047-1099); the hydration numbers at the surface of the solution (n_s), the molality of free water molecules at the surface (n_{Afs}), and the degrees of dissociation (α) were calculated using the Heyrovská equations (1997) and data from Hamer and Wu (1972). The ΔH° and S° values for the processes shown were calculated using the data from Aylward and Findlay (2008).

Table 4: Thermodynamic trends for the series of alkali chlorides, LiCl to CsCl at 25°C. p° (equilibrium vapour pressure for pure water) is 23.753 mm Hg.

p_w = equilibrium water vapour partial pressure; n_s = hydration number at the solution surface; n_{Afs} = molality of free water molecules at the solution surface; α = degree of dissociation of the salt in an aqueous solution of the salt; ΔH° = standard enthalpy of hydration of the alkali cation; S° = standard entropy of the alkali metal cation in aqueous solution.

	LiCl	NaCl	KCl	RbCl	CsCl
p_w (1.0 molal) in mm Hg	22.8959	22.9653	22.9968	23.0067	23.0275
n_s	6.12	3.35	1.99	1.75	1.71
n_{Afs} (1.0 molal)	49.39	52.16	53.52	53.76	53.8
α (1.0 molal)	0.8489	0.7890	0.7598	0.7437	0.6947
ΔH° [$M^+(g) \rightarrow M^+(aq)$] in kJ mol^{-1}	-519	-406	-322	-301	-276
S° [$M^+(aq)$] in $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$	12	58	101	122	132

The data in Table 4 are very informative as far as the molecular properties of solutions are concerned. The surface hydration number (n_s) is a measure of the average number of water molecules attracted and bound to an alkali metal ion and a chloride ion at the surface of the solution. A naked lithium ion, Li^+ , is smaller than a corresponding caesium ion, Cs^+ , and therefore the electric field around Li^+ is stronger than around Cs^+ . It is no surprise therefore that the surface hydration number (n_s) increases from CsCl to LiCl (1.71 to 6.12). This means, as one might now expect, that the molality of free water molecules at the surface (n_{Afs}) decreases from CsCl to LiCl (53.8 to 49.39) with the natural result that the partial pressure of water vapour (mm Hg) also decreases from CsCl to LiCl (23.03 to 22.90). The stronger interaction between a smaller cation and surrounding water molecules compared to a larger cation also leads to an increasing negative enthalpy (kJ mol^{-1}) of solution [$M^+(g) \rightarrow M^+(aq)$] from CsCl to LiCl (-276 to -519). The entropy ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$) of the aqueous cation decreases from CsCl to LiCl (132 to 12) due to the stronger hydration. Another way of looking at the entropy changes is that as the number of free water molecules increases from LiCl to CsCl so does the entropy (12 to 132 $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$). Such deductions as these were not possible with the traditional form of Raoult's Law.

Traditionally all the alkali chlorides would have been regarded as 100% dissociated into their ions. In the technique reported here the salts are only partially dissociated as shown by the α values in Table 1. One way of interpreting the trend in the α values is that ion-pairing is more likely to occur with a less hydrated metal ion leading to a smaller α value which is the case with CsCl (0.6947) compared to LiCl (0.8489) in Table 4. Ohtaki and Fukushima (1992) detected ion-pairs in concentrated NaCl and KCl solutions using X-Ray diffraction so the notion

of ion-pairing (or conversely, partial dissociation) in alkali chlorides has some experimental support in addition to its theoretical value.

7. CONCLUSION

The story of the development of our understanding of electrolyte solutions is not yet complete but it does currently offer a rich tapestry of experiment, theory, data, interpretation, knowledge and experience. The way scientific knowledge is appropriated, validated, and used is complex. This makes it increasingly difficult to decide exactly what is meant by 'scientific method'. Armstrong (Brock, 1973, p. 11) called it "the methodical logical use of knowledge". However we define it, the events reported in this paper show that, given its use, there is no guarantee of a unified outcome. Arrhenius and Armstrong differed in the way they interpreted the same data and, in Armstrong's case, questioned the admissibility of some data. How ironic that both have contributed in some way to Heyrovská's analysis of electrolyte solutions. Armstrong was one of the first to argue for the pre-eminence of practical work over bookwork in the teaching and learning of science. This orientation is seen in his criticisms of the theory of electrolytic dissociation where he admonishes professors of chemistry to spend time back in the laboratory, particularly the ionists who have become "destitute of chemical feeling (only obtained from practical work at the laboratory bench), an indefinable instinct which, however, has very real existence" (Armstrong, 1896, p. 78).

The dilemma we face as educators is how to introduce our students to the rich but complex nature of our subject in a way that captivates and instructs at the same time. I think the detail in Table 3 could form the substance of an entertaining drama production given the characters involved. Whatever might be the solution, 'doing science', participating in 'scientific argument', 'asking questions of oneself and of others', must rank highly on our scientific agendas. For however uncomfortable the participants in the 'dissociation controversy' might have been at the time, the outcome has proven to be of great benefit to our ongoing search for understanding.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ARMSTRONG, Henry. Letters to the Editor. *Nature* **55** (1413): 78, 1896.
- . Poor Common Salt. *Nature* **120**: 478, 1927(a).
- . The Origin of Osmotic Effects. Hydrodynamic Change in Aqueous Solutions. Pp. 307-313, 1927b, in: WILLIAMS, Leslie Pearce; STEFFENS, Henry John (eds.). *The History of Science in Western Civilization*. Vol. 3. Lanham: University Press of America, 1978.
- . The Nature of Solutions. *Nature* **121** (3037): 48-51, 1928.
- ARRHENIUS, Svante. Über die Dissociation der in Wasser gelosten Stoffe. *Zeitschrift für Physicalische Chemie* **i**: 631-648, 1887.
- . *Textbook of Electrochemistry* (translated by John McCrae). London: Longmans, 1902.
- AYLWARD, Gordon; FINDLAY, Tristan. *SI Chemical data Book*. 6. ed. Milton, Qld: John Wiley & Sons, 2008.

- BROCK, William. *Introduction to H.E. Armstrong and the Teaching of Science*. London: Cambridge University Press, 1973.
- DARVELL, Brian; LEUNG, Vitus Wing Hang. RIP Ionic Strength 1921-1991. *Chemistry in Britain* **January**: 29-30, 1991.
- DE BERG, Kevin. The Development of the Theory of Electrolytic Dissociation-A Case Study of a scientific controversy and the changing Nature of Chemistry. *Science & Education* **12**: 397-419, 2003.
- _____. The Kinetic-Molecular and Thermodynamic Approaches to Osmotic Pressure: A Study of Dispute in Physical Chemistry and the Implications for Chemistry Education. *Science & Education* **15**: 495-519, 2006a.
- _____. What happens when salt dissolves in water? An Introduction to Scientific Argument and Counter Argument drawn from the History of Science. *Teaching Science* **52** (1): 24-27, 2006b.
- _____. The Arrhenius Story: More than a legend from the Past. Pp. 1-21, in: KLASSEN, S.; TEICHMANN, J. (eds.). *Proceedings of the Second International Conference on Story in Science Teaching*. Munich, Germany, 2008.
- FRANKS, Felix. Old Habits die hard. *Chemistry in Britain* **April**: 315, 1991.
- GRATZER, Walter (ed.). *A Bedside Nature*. London: Macmillan, 1996.
- HAMER, Walter; WU, Yung-Chi. Osmotic Coefficients and Mean Activity Coefficients of Univalent Electrolytes in Water at 25⁰C. *The Journal of Physical & Chemical Reference Data* **1** (4): 1047-1099, 1972.
- HEYROVSKA, Raja. Ionic Concentration outlives Ionic Strength. *Chemistry in Britain* **December**: 1114, 1991.
- _____. Physical Electrochemistry of Strong Electrolytes Based on Partial Dissociation and Hydration. *Journal of the Electrochemical Society* **143** (6): 1789-1793, 1996.
- _____. Degrees of Dissociation and Hydration Numbers of Alkali Halides in Aqueous Solutions at 25⁰ C. *Croatia Chemica Acta* **70** (1): 39-54, 1997.
- _____. Ionic Concentrations and Hydration Numbers of Supporting Electrolytes. *Electroanalysis* **18** (4): 351-361, 2006.
- OHTAKI, Hitoshi; FUKUSHIMA, Nibuhiro. A Structural Study of Saturated Aqueous Solutions of some Alkali Halides by X-Ray Diffraction. *Journal of Solution Chemistry* **21** (1): 23-38, 1992.
- RAOULT, Francois-Marie. Loi de congelation des solutions aqueuses des matieres organiques. *Comptes Rendus* **94**: 1517-1519, 1882 (a).
- _____. Loi de congelation des solutions benzeniques des substances neutres. *Comptes Rendus* **95**: 187-189, 1882 (b).
- _____. Loi generale de congelation des dissolvants. *Annales de Chimie et de Physique* **2** (6): 66-93, 1884.
- _____. Loi generale des tensions de vapeur des dissolvants. *Comptes Rendus* **104**: 1430-1433, 1887.
- _____. Vapour Pressures of Solutions. *Annales de Chimie et de Physique* **20** (6): 297-371, 1891.
- TAMMANN, Gustav. Die Dampftensionen der Losungen. *Memoires de l'academie des sciences de St.Petersbourg* **35** (9): 1-172, 1887.
- Wright, Peter. Old habits die hard-Letters to the editor. *Chemistry in Britain* **April**: 315, 1991.

MICHAEL FARADAY E A QUÍMICA: ANÁLISE, SÍNTESE E REATIVIDADE

Paulo Alves Porto¹

José Otavio Baldinato²

Jennifer Amanda Zsurger Nagy³

Resumo: *A história química de uma vela permanece entre os textos favoritos de professores de química. Neste trabalho, percorremos um conjunto de experimentos realizados por Faraday em sua série de conferências, propondo discussões sobre a sua seleção e organização, e chamando a atenção para questões potencialmente úteis para os educadores em química na ativa ou em formação. A análise do texto de Faraday serve como exemplo da utilização de material histórico no ensino de ciências, numa abordagem que parte de um fenômeno cotidiano, a queima da vela, para abordar diversos conceitos químicos. Por um lado, pode-se explorar seu conteúdo de química, pela discussão de tópicos que são válidos ainda hoje, e por outro, o texto de Faraday também aponta para vários aspectos do pensamento científico dignos de discussão. O uso de um texto famoso, como o de Faraday, pode mostrar aos professores que não existe material didático perfeito. Contudo, é possível lidar com a complexidade inerente ao ensino de química, refletindo amiúde sobre suas escolhas curriculares e possíveis concepções alternativas dos estudantes, e analisando criticamente os materiais didáticos a sua disposição.*

Palavras-chave: *Michael Faraday, história da química, vela, ensino de ciências*

MICHAEL FARADAY AND CHEMISTRY: ANALYSIS, SYNTHESIS AND REACTIVITY

Abstract: *Faraday's The chemical history of a candle remains among chemistry teachers' favorite texts. This paper focuses on experiments performed by Faraday in his series of conferences, aiming at discussing the selection and arrangement of the experiments, and pointing to potentially useful issues for chemical educators. The analysis of Faraday's text constitutes an example of the multiple possibilities offered by the use of historical material in science education. From an everyday phenomenon – the burning candle – Faraday presented several chemical concepts in his series of lectures. Chemical educators may explore the*

¹ Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química – Instituto de Química – Universidade de São Paulo. Av. Prof. Lineu Prestes, 748. Bloco 7 Sup. – sala 0761 – Cid. Universitária, São Paulo, SP – palporto@ig.com.br

² Doutorando no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências – Universidade de São Paulo. Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química – baldinato@iq.usp.br

³ Bacharel e Licenciada pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química – jekagirl@gmail.com

chemical content of the lectures, since many topics are still relevant today. On the other hand, Faraday's text also points to several aspects of scientific thought that are worth discussing. The use of a famous text, such as The chemical history of a candle, may show to teachers that there is no perfect didactic material. For dealing with the inherent complexity of chemistry teaching requires continuous reflection on curriculum choices, awareness of students' possible misconceptions and revision of instructional materials.

Key-words: Michael Faraday, history of chemistry, candle, science teaching

1. INTRODUÇÃO - POSSIBILIDADES PARA A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO

Michael Faraday (1791-1867) foi um dos mais notáveis cientistas do século XIX. Além de seus importantes trabalhos nas áreas de física e de química, Faraday também se preocupou com a divulgação da ciência. Entre 1826 e 1862, realizou mais de uma centena de palestras com esse objetivo. Uma dessas séries de palestras foi publicada em livro em 1861, sob o título *The chemical history of a candle* (traduzido em 2003 para o português por Vera Ribeiro: *A história química de uma vela*). Essa obra tornou-se uma das mais importantes obras de divulgação da ciência no século XIX (Faraday, 1861). O objetivo do presente trabalho é revisitar esse texto de Faraday, promovendo reflexões sobre aspectos relevantes para o ensino de química na atualidade.

Nos últimos anos, as possibilidades de introdução da história da ciência no ensino de ciências têm sido discutidas por muitos autores (Baldinato & Porto, 2008; Martins, 2006). Concordamos com a sugestão de Allchin (2004) de que os educadores em ciências devem estar familiarizados com estudos de casos históricos, em vez de recorrer a textos curtos ou a pequenas “caixas” de textos, que não permitem uma visão mais completa do processo da ciência. Allchin afirma também que os professores têm de adaptar o estudo de caso para seus alunos – e consideramos que este é um ponto fundamental. Nesse sentido, nosso grupo de pesquisa tem procurado desenvolver estudos de casos dirigidos a professores de química (Vidal; Cheloni; Porto, 2007; Viana & Porto, 2010).

Aqui, apresentamos um estudo de caso para ser discutido com professores em formação inicial ou continuada. Como (e se) esse caso pode ser discutido com um dado grupo específico de alunos, é uma decisão a ser tomada pelo professor, considerando as características e o contexto do grupo. Conforme discutido por Stinner e colaboradores (2003), há muitas maneiras de se trabalhar com estudos de caso no ensino de ciências, mas isso depende de professores que “tenham mais do que conhecimento superficial da história e filosofia da ciência, e que tenham bom conteúdo e bom conhecimento pedagógico do conteúdo da ciência” (Stinner et al., 2003, p. 624). Assim, acreditamos que o material apresentado neste trabalho poderá ser utilizado em cursos destinados à formação de professores de química, pois motiva reflexões sobre a natureza do conhecimento científico e também sobre como as ideias químicas são apresentadas para os alunos. Além disso, concordamos com Abd-El-Khalick & Lederman (2000), quando afirmam que os professores não podem ensinar a respeito da natureza da ciência, a não ser que tenham sido adequadamente preparados para fazê-lo. Aqueles pesquisadores argumentam que a formação de professores tem de incluir abordagens explícitas a questões de história e filosofia da ciência, a fim de proporcionar aos professores um quadro conceitual atualizado sobre esses assuntos.

Como exemplo de abordagem histórica no ensino, D. Höttecke (2000) apresentou uma sugestão de trabalho com foco na replicação de experimentos históricos. Em seu artigo, Höttecke argumentou que esse tipo de atividade mostra que a ciência é uma atividade humana multifacetada, incluindo habilidades intelectuais e técnicas, e propôs a replicação de um experimento de Michael Faraday com eletricidade. No presente trabalho, percorremos outro conjunto de experimentos de Faraday, mas nosso foco se volta para a dimensão intelectual – pois entendemos que a própria seleção e organização dos experimentos, feita por Faraday para o seu público, pode ainda hoje gerar questões úteis para os educadores em química.

O valor das ideias de Faraday para o ensino de ciências foi e continua a ser explorado na literatura sob vários pontos de vista, como na análise que E. Crawford faz da palestra intitulada *Observations on Mental Education* (proferida por Faraday em 1854 e publicada textualmente no ano seguinte) (Crawford, 1998). Recentemente foi publicado um estudo de caso em português, dirigido a professores de física, sobre Faraday e a descoberta da indução eletromagnética (Dias & Martins, 2004). O estudo das investigações de Faraday sobre os padrões da água produzidos por vibrações inspirou E. Cavicchi a estabelecer um interessante paralelo entre a atitude experimental de Faraday e aquela desempenhada pelo epistemólogo suíço Jean Piaget ao estudar os mecanismos da aprendizagem infantil. Deste paralelo, Cavicchi traça implicações que ajudam a interpretar a aprendizagem científica de estudantes atuais (Cavicchi, 2006). Esses são apenas alguns exemplos de como o trabalho de Faraday pode ser ainda uma rica fonte de inspiração para educadores em ciências.

O texto da história química de uma vela permanece entre os favoritos de professores de química, e foi tomado como objeto de análise por pesquisadores da área de ensino de ciências. Walker e colaboradores (2008) sugerem que a abordagem proposta por Faraday – de estudar ciências a partir do fenômeno familiar de uma vela em chamas – pode ser adequado a iniciativas de ensino aberto e focado no aluno. Os autores também sugerem que as atividades podem ser adaptadas para diferentes níveis de ensino, do fundamental ao superior. Em outro trabalho, explicitamos algumas das estratégias didáticas utilizadas por Faraday em sua série de palestras, ressaltando atitudes que podem ser lidas como recomendações para professores atuais, tais como o apelo a fatos do cotidiano, a demonstração pessoal de fascínio pelo tema ou a adequação do discurso ao público em questão (Baldinato & Porto, 2008).

Este trabalho enfoca alguns dos experimentos descritos em *A História química de uma vela*. Nossos critérios de escolha envolvem uma leitura particular da linha de raciocínio seguida por Faraday ao longo de todo o curso, que trata do conhecimento químico como algo que se processa pelas vias de síntese e decomposição dos materiais. Enquanto vários experimentos servem ao autor apenas para ilustrar processos físicos, como os efeitos de capilaridade, ou as relações de densidade que fazem com que um objeto afunde ou flutue no meio em que se encontra, outros experimentos têm papel mais destacado na formulação de conclusões e no direcionamento das próximas perguntas a serem exploradas no curso. No texto, esse segundo tipo de experimento é tipicamente verificado quando o autor explora propriedades específicas de um material (água, ar ou parafina), ou quando denota a sua decomposição em corpos mais simples (carbono, gás hidrogênio, oxigênio, etc.), que merecem ser investigados na sequência, com vistas ao real entendimento da natureza daqueles materiais iniciais.

Tentamos selecionar alguns dos experimentos que foram abordados por Faraday com maior cuidado, e os preservamos a ordem em que aparecem no texto original. Isso foi feito para manter a sequência de ideias seguida pelo autor inglês. Nosso objetivo é tornar explícitos alguns aspectos que estão implícitos nas palestras de Faraday, tais como: as escolhas dos conceitos de composição, análise e reatividade, incluídos em sua apresentação; o modo como Faraday organizou a sequência de ideias (combustão, a composição da vela, a composição da atmosfera); e quais foram os temas mais difíceis para um espectador acompanhar na argumentação de Faraday. Ao fazer isso, pretendemos ajudar os professores da atualidade a refletir sobre a natureza do conhecimento científico, sobre a forma como os conceitos químicos são introduzidos aos alunos, e sobre as dificuldades e concepções alternativas dos estudantes a respeito de conceitos químicos. É importante notar, porém, que, embora seja muito útil refletir sobre o exemplo de Faraday, seus objetivos não eram os mesmos que os de um professor atual. Isso fica claro quando consideramos o panorama em que Faraday estava inserido, como veremos a seguir.

2. FARADAY E A DIVULGAÇÃO DA CIÊNCIA NO INÍCIO DO SÉCULO XIX

No século XIX, dentro de um contexto amplo de valorização das ciências, que abrangia tanto o divertimento da aristocracia como o ideal de progresso, ligado ao advento da máquina a vapor e à aplicação de novas tecnologias para o trabalho, a química se destacava aos olhos de várias esferas da sociedade, obtendo inclusive o suporte social que facilitava seu próprio desenvolvimento. Suas contribuições como via de conhecimentos úteis eram várias, do aperfeiçoamento de ferramentas e materiais à sua participação nos estudos de fenômenos elétricos, e seu alcance como entretenimento também era notável. A química era a ciência das qualidades secundárias, das cores, cheiros e gostos, e sua parte prática podia ser apresentada de maneira muito chamativa, que garantia a lotação de auditórios em Londres e Paris, onde Humphry Davy e Antoine Fourcroy conduziam suas palestras animadas por experimentos explosivos e empolgantes performances. David Knight descreve com certo saudosismo um tempo no qual tomar contato com a química era algo vibrante, embora de formas que talvez não combinem com nossas “modernas legislações de saúde e segurança” (Knight, 2007, p. 125).

Algumas instituições se destacavam ao propor atividades de divulgação como parte da rotina dos seus pesquisadores. Este é o caso da Royal Institution londrina, cuja fundação, em 1799, é associada ao estabelecimento de “um novo marco sobre as atividades de divulgação científica” (Massarani & Moreira, 2004, p. 76). Entre os objetivos declarados pela ata de criação da Royal Institution constava

difundir o conhecimento e facilitar a introdução de invenções e aprimoramentos mecânicos úteis: e para o ensino, através de cursos com palestras e experimentos filosóficos, das aplicações da ciência dentro dos propósitos cotidianos da vida. (James, 2007, p. 141)

A Royal Institution oferecia vários tipos de palestras e cursos para diferentes públicos, e seus pesquisadores/palestrantes mais notáveis durante o século XIX foram Humphry Davy e Michael Faraday, cujas biografias atestam visões de mundo completamente distintas, em contraste com duas características que tinham em comum: as habilidades na pesquisa e na divulgação científica (Knight, 1998; Cantor, 1991).

A história química de uma vela foi uma de duas séries de palestras que receberam autorização de Faraday para que fossem transcritas e publicadas por editores contemporâneos, compondo uma fonte primária que nos permite boa aproximação ao contexto em que se inseria a atividade de divulgação.

3. UMA LEITURA SOBRE A HISTÓRIA QUÍMICA DE UMA VELA

Como era de costume, entre os últimos dias de 1860 e os primeiros do ano seguinte, o auditório principal da Royal Institution teve seus assentos tomados por um público bastante diversificado. Isso a despeito dos pequenos impressos com o programa do curso indicarem que o ciclo de Christmas lectures era especificamente adaptado ao público jovem.

A vela foi escolhida por Faraday como ponto de partida para suas palestras principalmente por ser um material comum e extremamente conhecido (em uma época em que não existia luz elétrica). Faraday observou que uma vela tem propriedades interessantes: se conserva por um longo tempo, mesmo sob condições adversas (como em contato com água do mar por muitos anos) e, mesmo rachada ou quebrada, quando é posta a queimar, o faz regularmente, mantendo a sua função (Faraday, 2003, pp. 26-27). A vela, quando apropriadamente queimada, desaparece sem deixar vestígios de sujeira no castiçal, o que pode parecer uma circunstância curiosíssima ao observador. Mais do que isso, porém, Faraday usou a vela em suas palestras porque acreditava que:

Não existe lei pela qual seja rígida qualquer parte deste Universo que não entre em ação e não seja abordada nesses fenômenos. Não há porta melhor nem mais aberta para que os senhores possam iniciar o estudo da filosofia natural do que o exame dos fenômenos físicos de uma vela. (Faraday, 2003, p. 25)

A primeira das seis conferências que compõem a série é inteiramente dedicada a aspectos gerais das velas, tais como sua produção, tipos e formatos. É neste contexto que se introduzem suas primeiras explicações sobre o papel das substâncias combustíveis e sobre o mecanismo básico da queima de uma vela.

3.1 Experimento 1: analisando para investigar

Para dar início aos testes com a chama, e avançar nas investigações sobre a Natureza, Faraday colocou uma extremidade de um tubo de vidro no meio da chama, e a outra extremidade em um frasco. Pode-se observar que uma substância pesada se deposita no fundo do frasco: trata-se da própria cera da vela, que se transformou em vapor e então se condensou novamente dentro do frasco. Faraday procedeu então a testes com essa cera, aquecendo-a até ficar líquida, recolhendo o vapor que se formou e queimando-o pela aproximação de uma chama. Esse vapor estava no centro da vela, onde se formara pelo próprio calor da chama. O teste final foi feito inserindo novamente uma das extremidades do tubo de vidro no centro da chama da vela, onde o vapor é formado: o vapor, assim capturado, pode então ser queimado aproximando-se uma chama da extremidade oposta do tubo. A figura 1 reproduz a ilustração do experimento que consta no texto original.



Fig.1: Teste com vapor de cera. (Faraday, 2002, p.43)

Faraday identificou aqui dois fenômenos fundamentais: a combustão e a produção de vapor de cera na região central da chama. A queima ocorreu somente nas áreas mais externas da chama, onde o vapor de cera encontrou o ar necessário à combustão (Faraday, 2003, pp. 43-46).

Nesse ponto, Faraday estava colocando em prática um procedimento muito utilizado na investigação científica: a análise de um fenômeno complexo, ou – em outras palavras – a divisão de um fenômeno complexo em partes mais simples, para obter uma melhor compreensão de como essas partes se articulam. Ao “separar” o vapor da cera da chama, Faraday procurava demonstrar que é necessário que a cera se vaporize para poder queimar. Ao fazer isso, Faraday também contradizia um equívoco comum: o de que o pavio da vela é que queima, sendo a cera apenas um suporte. Faraday introduziu ainda a ideia de que uma entidade invisível, presente no ar, estava envolvida na combustão

3.2 Experimento 2: investigando o invisível

Em seguida, Faraday discutiu a necessidade de ar puro para a combustão. Para isso, colocou um frasco emborcado sobre a chama: depois de algum tempo, a chama começou a esmaecer e, por fim, se apagou. Faraday indicou verbalmente que o frasco continuava cheio de ar, mas que este não era mais puro como antes, tendo sido parcialmente modificado em sua composição devido ao processo químico de queima. Com estes argumentos, Faraday sugeriu investigar a composição da vela, partindo da análise dos produtos da combustão (Faraday, 2003, pp. 46-47).

Faraday colocou sua audiência diante de um grande problema, que era investigar a participação de uma entidade invisível em um fenômeno. Este é um tipo de questão muito presente no trabalho dos químicos – mas nem sempre os professores estão cientes da dificuldade que os alunos têm de acompanhar seus raciocínios a esse respeito. Em artigo curto e esclarecedor, Braathen (2000) discute como a questão específica da participação do ar na queima das velas já foi alvo de debate entre pesquisadores do ensino de química e se mostra ligada a uma série de desentendimentos comuns entre estudantes e professores.

Em sua argumentação, Faraday fez uso de sua credibilidade pessoal para afastar uma concepção do senso comum: a de que a chama se apaga quando o ar acaba, chamando a atenção para mudanças na qualidade do ar no interior do recipiente, e não à sua ausência. A explicação para tão simples fenômeno, de fato, depende de uma série de conceitos, cuja

demonstração experimental pode ser trabalhosa. Mais uma vez, nem sempre os professores estão atentos para a teia de relações envolvidas nas explicações dos fenômenos químicos, e que seus alunos podem não ser capazes de compreender tudo de uma só vez.

3.3 Experimento 3: identidade e diversidade

Ao final da segunda palestra, Faraday considerou os possíveis produtos da combustão e adiantou ao público experimentos simples que poderiam evidenciar a presença de uma substância “condensável”, resultante da queima da vela. Esse produto era a água, utilizada como gancho para iniciar o terceiro encontro do curso. Para tanto, Faraday se valeu de “uma ação muito visível da água”, que ele usou “como teste para verificar sua presença”. Faraday tomou um pequeno pedaço de potássio e o colocou em uma vasilha com água, e observou o pequeno sólido “se iluminar e boiar, queimando com uma chama violeta” (Faraday, 2003, pp. 57-58).

Em seguida, Faraday aplicou o mesmo teste para a parte condensável dos produtos de combustão da vela. Para isso, primeiro colocou uma vela acesa debaixo de uma cápsula de porcelana contendo uma mistura de gelo e sal. Formou-se uma gota de líquido incolor, condensada sobre a fria superfície inferior do recipiente (Figura 1). Faraday recolheu essa gota em outro frasco, e acrescentou a ela um pouco de potássio. Como resultado, o potássio “pegou fogo”, “queimando” da mesma maneira que no teste anterior, feito com água. Faraday afirmou que o mesmo poderia ser observado recolhendo-se o condensado proveniente da combustão de uma lâmpada a gás ou a óleo, ou seja: todas essas substâncias combustíveis produzem água ao serem queimadas (Faraday 2003, pp. 58-59).



Fig. 2: Montagem utilizada para coletar uma gota da água proveniente da combustão da vela (Faraday, 2002, p. 66).

Neste caso, existe implícita uma questão metodológica geral: como estabelecer a identidade (ou a diversidade) de dois fenômenos semelhantes, ou, mais especificamente, de duas substâncias? Estabelecer que dois fenômenos possuem uma propriedade em comum não prova que eles são da mesma natureza. É preciso diferenciar os aspectos essenciais do fenômeno – aqueles que definem sua natureza – dos aspectos superficiais ou acidentais – que estão como que “sobrepostos” ao núcleo imutável do fenômeno, são variáveis e sujeitos a influências externas (Martins, 1999, p. 833). No caso em questão – como identificar se uma

substância é ou não água – Faraday admitiu implicitamente que uma propriedade essencial da água é sua reação química característica com o potássio. Além disso, está-se admitindo também que nenhuma outra substância reage da mesma maneira com o potássio – o que pode não ser verdadeiro. O teste dessa hipótese poderia ser muito complicado, mas, em termos lógicos, não poderia ser descartado antes de se estabelecer a identidade do líquido obtido com a água. O fato, porém, é que há muitos outros testes possíveis, que, em conjunto, levavam Faraday à convicção de que a substância produzida era água. O teste com o potássio foi escolhido, provavelmente, por sua rapidez, facilidade de compreensão pelo público, e seu dramático efeito visual. Compare-se, por exemplo, com a medida do ponto de ebulição do líquido: sua execução e explicação para o público seriam muito mais difíceis e menos atraentes. A discussão de questões como esta pode ajudar os professores a refletir sobre a existência de muitas camadas de significação ocultas sob o discurso da ciência, as quais nem sempre são percebidas por eles. Um texto que poderia subsidiar uma discussão suplementar acerca da orientação dos experimentos e observações pelas teorias, com outros exemplos, é aquele de Chalmers (1993, p. 58-60).

Como exemplo didático, podemos tomar o simples aquecimento de um béquer contendo água num laboratório escolar com o objetivo de verificar o ponto de ebulição da substância. Para o professor, é importante que os alunos observem as variações de temperatura registradas pelo termômetro e também o surgimento das bolhas no sistema. Essas seriam variáveis relevantes para o estudo em questão. Mas outras coisas podem chamar a atenção do aluno, como a existência de estranhas marcações de volume no béquer utilizado, o fato de o termômetro apresentar, em seu interior, um líquido vermelho e não prateado como o que ele tem em casa, ou mesmo o formato e o material de construção da manta de aquecimento utilizada. Esses aspectos negligenciados pelo professor revelam uma estrutura teórica que antecede a realização dos experimentos, e que é ainda estranha ao aluno, que não sabe diferenciar aspectos essenciais daqueles que são apenas acidentais no fenômeno observado, justamente por estar sendo ainda introduzido nos modos de pensar e de agir das ciências.

3.4 Experimento 4: relacionando a ciência ao cotidiano

Faraday a seguir executou experimentos buscando demonstrar que “a água é uma coisa individual: nunca se altera... em estado sólido, líquido ou de vapor”, acrescentando que “é um material composto de duas substâncias, uma das quais extraímos da vela e outra que encontraremos em outro lugar” (Faraday, 2003, pp. 59-60).

Antes de passar à questão da composição da água, Faraday discutiu mudanças de estados físicos, argumentando que essas mudanças não alteram essencialmente a água. Faraday colocou água líquida em um frasco de vidro, um pouco mais do que o suficiente para cobrir o fundo, e a aqueceu para converter o líquido em vapor – mostrando, assim, a diferença de volume. Sobre a boca do frasco, Faraday apoiou um vidro de relógio, e observou que este balançava “como uma válvula trepidante” (Faraday, 2003, p. 61). Este foi um indício de que o frasco estava cheio de vapor, o qual tendia a escapar devido ao aumento de volume. Além disso, Faraday chamou atenção para o fato de que o volume de água líquida remanescente no fundo do frasco não se alterou significativamente – ou seja, a diferença de volume entre líquido e vapor é muito grande. Faraday também demonstrou isso de maneira inversa. Tendo

um recipiente de estanho repleto de vapor de água, Faraday rapidamente o fechou e jogou água fria na parte externa (Figura 3). Como o vapor condensa rapidamente, o recipiente colapsa – segundo Faraday, porque “se produz um vácuo no interior, em decorrência da condensação do vapor”. A partir desses experimentos, Faraday concluiu que uma polegada cúbica de água líquida poderia ser convertida em um pé cúbico de vapor, e vice-versa (Faraday, 2003, p. 63).

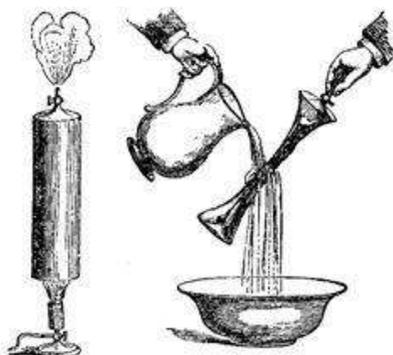


Fig. 3: Testes para as propriedades do vapor e da água líquida (Faraday, 2002, p. 74).

Faraday também buscou um efeito dramático com a demonstração a seguir. Ele encheu completamente com água um recipiente de ferro fundido, com paredes espessas e muito resistente, eliminando todo o ar. Então, mergulhou-o em uma mistura de gelo e sal, para resfriá-lo. Após certo tempo (que Faraday utilizou para fazer outras demonstrações), o recipiente de ferro se rompeu, produzindo um forte ruído. Faraday afirmou que a explicação era a mesma para o fato de o gelo flutuar sobre a água: o gelo tem volume maior do que a mesma massa de água (Faraday 2003, pp. 61-63). Neste caso, Faraday relacionou a explicação de sua demonstração com um fenômeno do cotidiano, conhecido do seu público, revelando que ambos têm uma mesma causa.

3.5 Experimento 5: seguindo um raciocínio complexo

Faraday se propôs a mostrar que a água é um composto de duas substâncias simples. Ele perguntou: “Como vamos chegar lá? Pessoalmente, conheço uma porção de caminhos, mas quero que os senhores descubram, associando em sua mente o que eu já lhes disse” (Faraday, 2003, p. 64; grifo no original).

A partir daí, Faraday apresentou uma série de demonstrações e argumentos, envolvendo metais, água e combustão. É interessante notar a preocupação manifestada por Faraday, de que seu público descobrisse a explicação. Embora não oferecesse a resposta pronta, pode-se observar que a linha de raciocínio seguida por Faraday não era natural ou óbvia, mas que foi estruturada a partir de uma série de conhecimentos químicos – conforme veremos a seguir.

Mais uma vez, Faraday demonstrou a ação do potássio metálico sobre a água, destacando: “vejam como queima lindamente, criando uma lâmpada flutuante, ao usar a água em vez do ar” (Faraday 2003, p. 64). A seguir, colocou um pouco de limalhas de ferro na água, e

observou que a limalha se enferruja e exibe uma ação sobre a água – da mesma forma que o potássio, disse Faraday, embora em um grau de intensidade diferente. Ele então colocou uma pequena tira de zinco em uma chama, mostrando que este também sofre combustão, transformando-se em um resíduo branco. Faraday pediu ao público para juntar “mentalmente esses fatos diferentes”. Nesse sentido, ele disse: “aos poucos, fomos aprendendo a modificar a ação dessas substâncias diferentes e a fazê-las dizerem o que queremos saber”. Faraday acrescentou mais uma demonstração, lançando raspas de ferro em uma chama, para mostrar que elas se queimam, e observou que a limalha de ferro “queima lindamente no ar” (Faraday 2003, p. 65).

Feito isso, Faraday afirmou que agora se poderia entender o que acontece com o ferro ao se encontrar com a água. Ele reproduziu um experimento feito por Lavoisier, o primeiro químico a tratar a composição da água nos mesmos termos usados hoje. O experimento consistia na passagem de vapor de água através de um cano de metal colocado sobre uma fornalha, e contendo em seu interior lascas de ferro polidas e aquecidas ao rubro (Figura 4). Faraday observou que, após o vapor de água passar sobre o ferro aquecido, foi liberado na outra extremidade do cano um gás, que foi recolhido em um recipiente emborcado sobre água. Este gás não poderia ser vapor de água, uma vez que não se condensou quando resfriado sob água. Além disso, Faraday fez o seguinte teste: “se eu puser uma faísca na extremidade do frasco [em que o gás foi coletado], ela se acenderá com um pequeno ruído. Isso nos indica que não se trata de vapor: o vapor extingue o fogo, não se inflama” (Faraday 2003, p. 67). Faraday acrescentou que poderia obter essa substância de qualquer amostra de água, fosse ela produzida pela chama de uma vela, ou de qualquer outra fonte. Prosseguindo com seu raciocínio, Faraday revelou que a ação do vapor de água sobre o ferro deixava este metal em um “estado muito parecido com o da limalha depois de ser queimada” (Faraday 2003, p. 67). O gás inflamável também poderia ser produzido pela ação da água sobre outros metais. Faraday informou que o contato da água com o zinco não produziu um efeito tão rápido como com o potássio, porque existe um revestimento sobre o zinco que impede tal ação. Sugeriu, então, dissolver esse “verniz” protetor do zinco, fazendo uso de um ácido. Observou que a transformação era muito mais rápida do que no caso do zinco com água somente. Faraday apontou o desprendimento de gás em abundância, e que era a mesma substância inflamável anteriormente obtida a partir de água. Faraday realizou vários experimentos com esse gás, e salientou que essa substância veio da vela (que consistia desse gás e de carbono), uma vez que o gás podia ser separado da água condensada da chama. Faraday declarou que a substância gasosa em questão era hidrogênio (Faraday, 2003, pp. 68-69).

Nesta sequência, é possível identificar mais algumas características da argumentação científica utilizada por Faraday. Ele partiu do raciocínio por analogia, mostrando ao público que a ação da água sobre o potássio, ferro e zinco é análoga, sendo que essas três substâncias pertencem à classe dos metais. Mais uma vez, a questão metodológica já destacada no caso do Experimento 3 está presente: o fenômeno essencial é o mesmo (reação com água), e as diferenças (velocidade das reações) seriam meramente acidentais ou superficiais. Segundo o raciocínio de Faraday, na dissolução do zinco, o ácido seria um mero acessório, pois ele considera que também aqui a reação é entre o metal e a água. Além disso, há outra analogia, bem mais complexa, que relaciona a combustão e a reação com água. Para acompanhar o

raciocínio de Faraday, é preciso admitir que a “queima” de potássio em água é análoga à queima de limalha de ferro no ar, por exemplo. Os motivos que levaram Faraday a estabelecer tal relação podem se tornar mais claros à medida que as demonstrações e explicações se sucedem, mas, novamente, não são óbvios. Um estudante do ensino médio que estiver iniciando seu aprendizado em química, por exemplo, pode ter dificuldade em compreender, de maneira significativa, a sequência de ideias, e seu professor deve estar atento para isso.

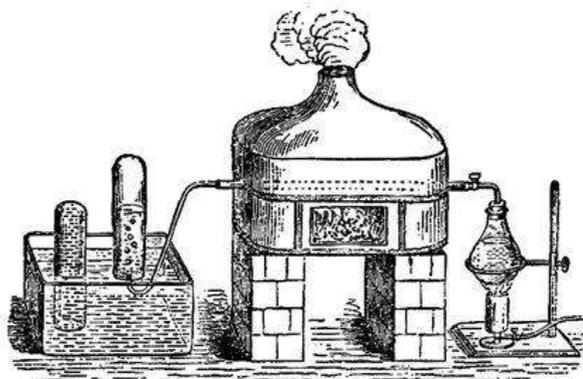


Fig. 4: Experimento de Lavoisier reproduzido por Faraday para decomposição a água (Faraday, 2002, p. 80).

3.6 Experimento 6: mais analogias

Faraday apresentou o que antigamente era chamado de “vela do filósofo”. Colocou pedaços de zinco em um recipiente, adicionou água e ácido sulfúrico, e adaptou ao recipiente uma rolha atravessada por um tubo de vidro. Observando a vazão de gás hidrogênio através do tubo, Faraday aproximou uma chama para iniciar sua ignição. Faraday descreveu a chama obtida como “um tipo bobo de chama, meio frágil” (Faraday, 2003, p. 70), mas muito quente. Ele então procedeu à condensação do produto da combustão do gás, colocando um frasco de vidro de boca larga sobre a chama. Formaram-se gotículas incolores no interior do frasco, e depois de algum tempo a água começou a escorrer pelas paredes internas (Fig.). Faraday observou que a combustão do hidrogênio produziu somente água, pois não houve nenhum outro resíduo nem outra substância condensada. A seguir, Faraday demonstrou o quão leve é o hidrogênio. O frasco gerador de hidrogênio foi conectado, por meio de um tubo, com uma vasilha contendo água e sabão. As bolhas de sabão assim formadas subiram, enquanto Faraday demonstrou que as bolhas sopradas com a boca tendem a cair (Faraday, 2003, p. 71).

Faraday reconheceu que ainda faltava identificar o que mais, além do hidrogênio, constitui a água. Para fazer isso, Faraday apresentou ao público sua bateria voltaica, “um aparelho que declarei [...] ser um arranjo de força, ou potência, ou energia química, ajustado de maneira a nos transmitir seu poder por estes cabos”. Mais uma vez, Faraday recorreu a analogias. “vamos juntar algumas substâncias, sabendo o que elas são, e em seguida ver o que o instrumento [i.e., a bateria voltaica] faz com elas” (Faraday 2003, p. 75). Faraday colocou um pedaço de cobre metálico em ácido nítrico, e avisou que o “belo vapor vermelho” produzido seria descartado pela chaminé. Esperou até que a solução se tornasse azul, e boa parte do metal não pudesse

mais ser vista. Mergulhou então chapas de platina, ligadas à bateria voltaica, na mistura que resultou da dissolução do cobre com ácido. Após algum tempo, Faraday apontou para um depósito de cobre sobre uma das placas de platina, concluindo que o mesmo cobre que fora dissolvido havia sido novamente transformado em metal pela bateria voltaica (Faraday 2003, pp. 76-78).



Fig. 5: Condensação da água formada pela combustão do hidrogênio dentro da "vela do filósofo" (Faraday, 2002, p. 89).

Tendo demonstrado o poder da bateria voltaica, Faraday se propôs a demonstrar seu efeito sobre a água. Dois eletrodos, ligados à bateria voltaica, foram colocados dentro de um recipiente cheio de água (à qual foi adicionado um pouco de ácido), e os produtos gasosos foram coletadas sob a água, em outros frascos. Faraday perguntou se o produto poderia ser vapor de água, e descartou essa possibilidade argumentando que o gás recolhido não se condensou. Para verificar se seria hidrogênio, Faraday sugeriu tentar queimá-lo. Ao aproximar uma chama, Faraday chamou a atenção para o ruído diferente produzido pela explosão resultante, em comparação com o ruído produzido quando da queima do hidrogênio no ar. Além disso, Faraday salientou que o gás coletado queimou sem entrar em contato com o ar externo, diferentemente do hidrogênio. Também observou que a explosão do gás produziu água. Faraday comentou que a queima da vela produz água com a ajuda da atmosfera; no entanto, ele agora estava produzindo água independentemente do ar atmosférico. Ele concluiu que a água “a água deve conter aquela outra substância que a vela extrai do ar e que, ao se combinar com o hidrogênio, produz água” (Faraday 2003, p. 81).

Nesta série de experimentos, Faraday procurou novamente convencer seu público por meio de analogias. Para explicar a ação da bateria voltaica sobre as substâncias, Faraday preparou uma solução (dissolveu cobre com ácido nítrico) e, em seguida, recuperou um dos componentes iniciais (cobre). Ou seja, Faraday preparou um “composto”, a partir de um elemento conhecido (cobre), e demonstrou que a bateria voltaica foi capaz de decompor esse “composto”, regenerando o elemento de partida. Aplicou então o mesmo dispositivo sobre a água, esperando que o público fosse entender que a ação era do mesmo tipo. Faraday não ocultou que a adição de um pouco de ácido era necessária, ressaltando que foi “apenas para facilitar a ação; ele não sofre nenhuma mudança nesse processo” (Faraday, 2003, p. 78). Entretanto, isso não foi demonstrado. O público teve que aceitar que o ácido era apenas superficial ou acidental nesse caso, e não uma parte essencial do fenômeno sob escrutínio.

3.7 Experimento 7: mais análises

Faraday repetiu a decomposição da água, mas desta vez recolhendo os gases produzidos em cada eletrodo em frascos separados. Observou que um dos frascos se encheu de gás mais rapidamente do que o outro. Os gases de ambos os frascos eram incolores e, à primeira vista, similares em todos os aspectos. Faraday passou então a examiná-los. Ao testar o gás contido no frasco que se encheu mais rapidamente, Faraday reconheceu todas as propriedades já vistas anteriormente para o hidrogênio. Ao colocar, no interior do frasco que demorou mais a ficar cheio, uma lasca de madeira incandescente, Faraday viu que sua combustão foi reforçada. Concluiu que este frasco continha a outra substância componente da água, que é responsável pela queima do hidrogênio, e que “deve ter sido extraída da atmosfera” (Faraday, 2003, p. 83) – a qual chamou oxigênio.

Faraday explicou que havia outras maneiras de se obter oxigênio. Misturando óxido de manganês com clorato de potássio, e aquecendo em uma retorta, fez com que o oxigênio fosse liberado da mistura. Faraday observou que o gás assim produzido era o mesmo obtido a partir da decomposição da água – “transparente, não dissolvido pela água e apresentando as propriedades visíveis comuns da atmosfera” (Faraday, 2003, p. 85). Ao colocar uma vela acesa na presença desse gás, sua chama se tornou mais intensa. Faraday observou: “É esplêndido ver como, por meio do oxigênio, aceleramos a combustão... todos os tipos comuns de combustão” (Faraday, 2003, p. 87). O mesmo foi demonstrado para a queima do enxofre, do ferro e do fósforo.

Nesse ponto, Faraday pareceu considerar que o público estava pronto para as conclusões decisivas de tudo o que fora testado até o momento:

Por que um pedaço de potássio decompõe a água? Porque encontra oxigênio nela. O que é liberado quando introduzo água, como vou fazer novamente [com o potássio]? Ela libera o hidrogênio, que se queima, mas o potássio em si combina-se com o oxigênio. Este pedaço de potássio, ao decompor a água – a água, dirão os senhores, derivada da combustão da vela – retira o oxigênio que a vela tirou do ar e, deste modo, libera o hidrogênio. (Faraday, 2003, p. 89)

Ao recolher separadamente os dois gases produzidos na eletrólise da água, Faraday mais uma vez se valeu da análise do problema em partes mais simples. Ao comparar as propriedades consideradas essenciais, Faraday identificou o hidrogênio e o oxigênio. Finalmente, Faraday sumarizou as diversas observações que fez, e as explicou em termos de diferentes e sucessivas combinações do hidrogênio e do oxigênio com outros elementos, ou entre si. Para concluir a linha de raciocínio desenvolvida, faltaria explicar por que o oxigênio apresenta propriedades semelhantes às do ar atmosférico, porém mais acentuadas. Posto de outra forma, seria necessário explicar o que mais existe no ar atmosférico, além de oxigênio. Foi precisamente o que Faraday fez na sequência.

3.8 Experimento 8: fechando o círculo

O experimento seguinte tinha como objetivo investigar a composição da atmosfera. Dois frascos – um deles contendo oxigênio puro, e o outro, ar atmosférico – foram colocados, separadamente, em contato com óxido nítrico. No frasco contendo oxigênio puro, formou-se um gás intensamente avermelhado. No frasco com ar atmosférico, também se formou o gás avermelhado, mas esse efeito foi menos pronunciado. Mantendo esse sistema sempre isolado

da atmosfera, e removendo o gás formado por meio de seguidas dissoluções em água, Faraday foi adicionando mais óxido de nitrogênio, repetindo o procedimento até que todo o oxigênio presente na amostra inicial de ar tivesse sido consumido. Restou, no frasco, um resíduo gasoso que o óxido nítrico não mais transformava em gás avermelhado. Faraday concluiu que este gás residual era parte da atmosfera, mas não era oxigênio. Assim, a atmosfera seria constituída de duas partes: o oxigênio, responsável pelas combustões; e outra substância, o nitrogênio, que não participa das combustões e constituiu a maior parte do ar. Faraday ressaltou ainda a pouca reatividade química do nitrogênio (Faraday, 2003, pp. 91-94).

Faraday retornou então à chama da vela, a fim de extrair dela mais informações. Faraday já havia observado anteriormente que, além de água, a vela produz também fuligem – e outro produto, que seria investigado agora. Faraday envolveu uma vela acesa com um recipiente, cuja parte superior não era totalmente fechada, mas se prolongava em um tubo de vidro. Faraday observou que a maior parte da umidade produzida se condensava nas paredes do recipiente, e o ar que saía do tubo na parte superior foi capaz de apagar outra chama colocada próxima a ele (Figura 6). Faraday então indagou se havia algum outro gás ali, além do já esperado e pouco reativo nitrogênio. Para responder a isso, ele recolheu em um frasco um pouco do gás proveniente da combustão da vela, adicionou água de cal recém-preparada, e agitou vigorosamente o frasco. Faraday observou que a água de cal ficou turva. Repetindo o teste com uma garrafa contendo apenas ar atmosférico, Faraday observou que nem o oxigênio, nem o nitrogênio, eram capazes de causar alteração na água de cal. Portanto, a propriedade de turvar a água de cal deveria pertencer ao outro produto da combustão da vela: um gás que, conforme lembrou Faraday, foi chamado por Joseph Black de “ar fixo”, pois estava presente em corpos fixos (ou seja, sólidos), tais como o mármore e outras rochas. Em seguida, Faraday apresentou outro método simples de obtenção do gás carbônico: adicionando ácido muriático a pedaços de mármore, ele produziu grandes quantidades de gás, que também apresentou as propriedades de extinguir a chama e turvar a água de cal (Faraday, 2003, pp. 102-108).

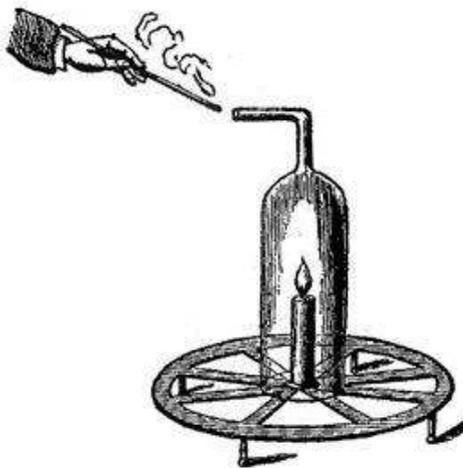


Fig. 6: Dispositivo montado para testar as propriedades do gás carbônico. (Faraday, 2002, p. 142)

Faraday lembrou que, quando uma vela não queima bem, libera fumaça, na forma de partículas pretas. Essa fuligem é o carbono que, caso houvesse sido completamente queimado, seria liberado na forma de gás carbônico. A fim de ilustrar esse ponto, Faraday procedeu à queima de carbono – carvão comum, pulverizado – e mostrou que o mesmo queima de modo característico (Faraday, 2003, pp. 111-112).

Tendo em mente que o gás carbônico se tratava de um composto de carbono e oxigênio, Faraday decidiu decompô-lo. Para isso, usou novamente potássio, que fora capaz de separar o oxigênio do hidrogênio quando colocado em contato com a água. Faraday aqueceu ligeiramente um pequeno pedaço de potássio e o introduziu em um frasco contendo dióxido de carbono. O potássio “queima” lentamente na presença desse gás, se combinando, uma vez mais, com o oxigênio. Para investigar os produtos, Faraday colocou o resíduo na água, e chamou a atenção para a presença de carbono, não-solúvel. Outro produto foi a potassa, que se dissolveu na água. Faraday concluiu comentando que o carbono era a única substância elementar sólida conhecida cujo produto de combustão se dispersa como um gás – diferente, por exemplo, do ferro, que se queima em um sólido, ou do fósforo, cuja queima desprende uma fumaça opaca (Faraday, 2003, pp. 113-116).

Nesta última série de experimentos que selecionamos, Faraday concluiu uma série de raciocínios iniciados com a observação de uma vela acesa. Completou-se a sequência lógica de raciocínios a respeito da composição da atmosfera, e retomou-se a questão do “outro componente” que constitui a vela, ao lado do hidrogênio – isto é, o carbono. Destaca-se, aqui, o uso do potássio como instrumento para decompor o gás carbônico, mais uma vez recorrendo à analogia da decomposição da água por meio do mesmo metal. Observa-se, também, como, ao discutir a composição das substâncias, Faraday se preocupou em demonstrar tanto a síntese a partir das substâncias simples, quanto sua decomposição nas mesmas. Nesse aspecto, Faraday estava seguindo o exemplo de Lavoisier, cuja argumentação a respeito da composição das substâncias seguia esse modelo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O livro de Faraday, *A história química de uma vela*, pode ser uma rica fonte de atividades para o ensino de química nos diferentes níveis. Faraday parte de um fenômeno comum, bem conhecido de seu público – a chama de uma vela – e daí discute muitos conceitos de química. É curioso notar como o fogo não é mais um assunto muito discutido nas aulas de química, como foi observado por Bachelard:

Os livros de Química, com o passar do tempo, viram os capítulos sobre o fogo tornarem-se cada vez mais curtos. E são numerosos os livros modernos dessa disciplina nos quais buscaríamos em vão um estudo sobre o fogo e sobre a chama. O fogo não é mais um objeto científico. O fogo, objeto imediato relevante... não abre mais nenhuma perspectiva a um estudo científico. (Bachelard, 1994, p. 3. Grifo no original.)

Esse poderia ser outro ponto a debater com professores em formação. O livro de Faraday, por sua vez, pode ajudar a trazer de volta o fogo como tema para discussão na sala de aula de química. A utilização do texto de Faraday serve como exemplo da utilização de material histórico no ensino de ciências. Por um lado, pode-se explorar seu conteúdo de química, pela

discussão de tópicos que são válidos ainda hoje, e que eventualmente podem ser aprofundados em aulas posteriores. Por outro lado, como foi sugerido neste trabalho, o texto de Faraday aponta para vários aspectos do pensamento científico dignos de discussão.

O uso de um texto famoso, como o de Faraday, também pode mostrar aos professores que não existe material didático “perfeito”. Os professores devem lidar com a complexidade inerente ao ensino de química, refletindo amiúde sobre suas escolhas curriculares e possíveis concepções alternativas dos estudantes, e analisando criticamente os materiais didáticos a sua disposição.

NOTA

Todo o conteúdo original do livro *A história química de uma vela* é de domínio público. As ilustrações dispostas neste artigo foram digitalizadas pelos autores a partir de uma publicação da Editora Dover (Faraday, 2002), com autorização expressa por escrito do departamento de direitos e permissões da Editora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* 37: 1057-1095, 2000.
- ALLCHIN, Douglas. Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education* 13: 179-195, 2004.
- BACHELARD, Gaston. *A Psicanálise do Fogo*. São Paulo: Martins Fontes, 1994.
- BALDINATO, José Otavio; PORTO, Paulo Alves. Variações da história da ciência no ensino de ciências. In: VI ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, nov., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: FAE/UFMG, 2008. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p1023.pdf>>. Acesso em: 01 agosto 2010.
- BRAATHEN, Per C. Desfazendo o mito da combustão da vela para medir o teor de oxigênio no ar. *Química Nova na Escola* 12: 43-45, 2000.
- CANTOR, Geoffrey. Educating the judgment: Faraday as a lecturer. *Bulletin for the History of Chemistry* 11: 28-36, 1991.
- CAVICCHI, Elizabeth. Faraday and Piaget: experimenting in relation with the world. *Perspectives on Science* 14 (1): 66-96, 2006.
- CHALMERS, Alan F. *O que é ciência afinal?* Trad. Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CRAWFORD, Elspeth. Michael Faraday on the learning of science and attitudes of mind. *Science & Education* 7: 203-211, 1998.
- DIAS, Valéria. S.; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. *Ciência e Educação* 10 (3): 517-530, 2004.
- FARADAY, Michael. *A história química de uma vela. As forças da matéria*. Trad. Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2003.
- . *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*. New York: William Crookes ed. Harper and Brothers, 1861.

- . *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*. New York: Dover Publications Inc., 2002.
- HÖTTECKE, Dietmar. How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study. *Science & Education* 9 (4): 343-362, 2000.
- JAMES, Frank A. J. L. Constructing Space for Science at the Royal Institution of Great Britain. *Physics in Perspective* 9: 130-185, 2007.
- KNIGHT, David. Popularizing chemistry: Hands-on and hands-off. Pp. 123-135, in: SCHUMMER, J.; BENSUADE-VINCENT, B.; VAN TIGGELEN, B. (eds.). *The public image of chemistry*. Singapore: World Scientific, 2007.
- . *Humphry Davy: Science and Power*. Cambridge: University Press, 1998.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: A história das ciências e seus usos na educação. Pp. 17-30, in: SILVA Cibelle C. (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para a aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- . Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. *Acta Scientiarum* 21: 823-835, 1999.
- MASSARANI, Luisa; MOREIRA, Ildeu de Castro. Popularization of science: historical perspectives and permanent dilemmas. *Quark* 32: 75-79, 2004.
- STINNER, Arthur; McMILLAN, Barbara A.; METZ, Don; JILEK, Jana M.; KLASSEN, Stephen. The renewal of case studies in science education. *Science & Education* 12: 617-643, 2003.
- VIANA, Hélio E. B.; PORTO, Paulo Alves. The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry. *Science & Education* 19: 75-90, 2010.
- VIDAL, Paulo H. O.; CHELONI, Flávia O.; PORTO, Paulo A. O Lavoisier que não está presente nos livros didáticos. *Química Nova na Escola* (26): 29-32, 2007.
- WALKER, Mark; GRÖGER, Martin; SCHLÜTER, Kirsten; MOSLER, Bernd. A bright spark: open teaching of science using Faraday's lectures on candles. *Journal of Chemical Education* 85: 59-62, 2008.

THE LAW OF INERTIA AND *VIS INSITA*: NEWTON AND HIS SOURCES

Roberto de Andrade Martins *

Abstract: *This paper explores Newton’s concept of inertia, and some of the influences that helped to shape his ideas. The analysis presents the conflicting ideas encompassed in his very complex concept of inertia, and some of its theological, alchemical and philosophical sources. It shows how different was Newton’s inertia from the concept of inertia we teach nowadays. This example is employed to discuss some aspects of the use of history of science in science teaching*

Key-words: *Newton, Isaac; inertia; vis insita; history of physics; science teaching*

A LEI DA INÉRCIA E A *VIS INSITA*: NEWTON E SUAS FONTES

Resumo: *Este trabalho explora o conceito de inércia de Newton e algumas das influências que ajudaram a formar suas idéias. A análise apresenta as idéias conflitantes envolvidas em seu conceito altamente complexo de inércia e algumas de suas fontes teológicas, alquímicas e filosóficas. O artigo mostra que a inércia de Newton era muito diferente do conceito de inércia que ensinamos hoje em dia. Este exemplo é utilizado para discutir alguns aspectos do uso da história da ciência no ensino de ciências.*

Palavras-chave: *Newton, Isaac; inércia; vis insita; história da física; ensino de ciências*

1. INTRODUCTION

High school students are taught Newton’s first law of motion (or law of inertia), usually presented in a form such as: “Every body remains in a state of rest or uniform motion (constant velocity) unless it is acted upon by an external force”. This looks like a clear and simple physical law, and it also seems that we know what it means, and what it meant for Newton. However, when we have a closer look at this law, as presented in the *Principia*, a feeling of strangeness arises. Among other odd features, Newton stated that inertial motion requires an inherent force (“*vis insita*”) in the bodies.

This paper explores Newton’s concept of inertia, and some of the influences that helped to shape his ideas. The analysis will present the conflicting ideas encompassed in his very

* Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba (professor visitante). Rua Juvêncio Arruda, s/n – Campus Universitário – Bairro Bodocongó, CEP: 58.109-790, Campina Grande, PB, Brasil.
E-mail: roberto.andrade.martins@gmail.com

complex concept of inertia, and some of its theological, alchemical and philosophical sources. It will become clear how different was Newton's inertia from the concept of inertia we teach nowadays. I will then use this example to discuss some aspects of the use of history of science in science teaching.

2. THE FIRST LAW OF MOTION

It is well known that Newton's laws of motion were published for the first time in 1687, in his *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*: "Every body persists in its state of resting or of moving uniformly in a direction, except insofar as it is compelled to change its state by an impressed force" (Newton, 1687, p. 12).

After stating the other laws, and several corollaries, Newton presents a general commentary (*scholium*) where he attributes the first and second laws of motion to Galileo: "By the first two laws and the first two corollaries, Galileo discovered that the descent of heavy bodies is in the duplicate ratio of time and that the motion of projectiles was made in a parabola [...]" (Newton, 1687, p. 20).

The word "inertia" does not appear in the original statement of the first law, but Newton used it in his third definition: "By the inertia of matter it happens that every body is changed from its state, of resting or moving, with difficulty" (Newton, 1687, p. 2).

Up to this point, everything sounds quite familiar, and no physics teacher would disagree nor would he find anything exceptional in this short description of Newton's ideas. Let us now begin a detailed analysis of those ideas, unravelling a few important points.

3. THE WORD "INERTIA"

The word "inertia" was used before Newton in the sense of *inactivity*¹. Let us recall that the English word *inert*, derived from the Latin *inertia*, means inactive, unable or unwilling to move or to act. Kepler, for instance, used the word "inertia" in the sense of resistance to motion, or tendency to rest (Jammer, 1997, pp. 53-57): "Inertia, or repugnance to motion, is a property of matter; it is stronger, the greater the quantity of matter in a limited space" (Kepler, 1635, p. 118).

Although Newton could have been acquainted with Kepler's concept of inertia from his early studies (Cohen, 1964, p. 133), there is no evidence that he was influenced by it; and at a later date he explicitly denied that his own concept was equivalent to Kepler's (Gabbey, 1971, p. 33, footnote 93).

Historians of science have not found any precedent of this change of meaning of the word "inertia". This was a new and paradoxical use of the term. Up to the present, students have a strong difficulty in accepting this concept and its name.

4. THE MEDIEVAL IMPETUS

As described above, Newton ascribed the first law of motion to Galileo; nevertheless, the

¹ "Inertia" is a Latin word meaning primarily *lack of art or skill*, and its secondary meaning was *inactivity, idleness, laziness* (Smith & Lockwood, 2000, p. 346).

Italian mathematician never presented a clear statement equivalent to the law of inertia. Galileo preserved the Aristotelian categories of violent and natural motion and the dichotomy of rectilinear motion and circular motion (Martins, 1998), and stated that only circular motion is natural, perpetual and perfect (Westfall, 1972, p. 187; Franklin, 1976, pp. 540-542).

Although Galileo has often been held to have been the first to state the law of inertia, close examination has shown that in most cases he conceived only the tendency of bodies to continue a circular motion, instead of a rectilinear motion (Cohen, 1964, p. 133; Dutton, 1999, p. 54). In some cases, when Galileo described the motion of projectiles, he used the medieval concept of *impetus* (Westfall, 1972, p. 185; Franklin, 1976, pp. 536, 538, 540; Duhem, 1990, p. 194)². At other times, Galileo introduced something that is usually called “circular inertia”³.

The concept of *impetus*, that strongly influenced both Galileo and Newton, has a very long story that cannot be fully described here⁴. Different versions of the idea that a projectile keeps moving because of some internal power were suggested from Antiquity (Hipparchus) to the late Middle Ages, having being advocated by Philoponus, Avicenna, Franciscus de Marchia and other authors (Franklin, 1976, pp. 531-535).

Jean Buridan (c. 1300-1358) produced an original view of the internal moving power, calling it *impetus*. According to Buridan and other medieval authors, a projectile continues to move after being thrown, and strives to move in a straight line, due to its *impetus* – an internal principle the body receives from the hand or instrument that impelled it.

Several versions of the *impetus* concept were current in the 16th century, such as Giambattista Benedetti’s and Giordano Bruno’s ideas, that were very similar to those used by Galileo in the next century (Koyré, 1966, pp. 47-106). The idea was well known in Newton’s time, and it certainly had some influence upon his concept of inertia. The third definition of the *Principia* compared the tendency to rest and the tendency to keep moving by using the Latin words “*resistentia*” and “*impetus*”:

But a body only exerts this force [inherent force, or force of inertia] when another force, impressed upon it, endeavours to change its condition; and the exercise of this force may be considered as both resistance [*resistentia*] and impulse [*impetus*]. Resistance so far as the body, for maintaining its present state, opposes the impressed force; impulse [*impetus*] so far as the body, by not easily giving way to the impressed force of another, endeavours to change the state of that other. Resistance is vulgarly ascribed to bodies at rest, and impulse [*impetus*] to those in motion [...]. (Newton, 1687, p. 2)

² Stillman Drake attempted to show that Galileo’s ideas were different from the medieval *impetus* concept, but his arguments have been refuted by Allan Franklin (Drake, 1975; Franklin, 1977).

³ Many authors ascribed this concept to Galileo (Koyré, 1965, pp. 67-68; Koyré, 1966, 205-290; Dijksterhuis, 1986, pp. 347-352; Franklin 1976, pp. 58-62, 84-87; Shea, 1972, pp. 116-138; Shapere, 1974, pp. 87-121; Feyerabend, 1993, chapter 7, pp. 65-76, esp. 73-76). Other historians, such as Stillman Drake, denied this interpretation, but I think that he was wrong.

⁴ It was Pierre Duhem, in his *Études sur Léonard da Vinci* (Duhem, 1913) who first described the Medieval studies on *impetus*-like concepts, from Johann Philoponus (6th century) to Jean Buridan (14th century), showing how those ideas gradually led to the dynamics of Galileo and other authors of the 16th and 17th centuries (Menn, 1990, p. 216).

5. GASSENDI AND THE TENDENCY OF UNIFORM MOTION

Pierre Gassendi (1592-1655) published an early statement that a force-free material body would move forever in a straight line with constant velocity once it had been put in motion, and could be set in motion only by the action of an external force. Newton studied Gassendi's ideas when he was very young, by reading Walter Charleton's *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charletoniana*⁵, where we can find those ideas: "All motion, once impressed, is of itself Indelible, and cannot be Diminished, or Determined, but by some External Cause, that is of power to repress it" (Charleton, 1654, p. 467).

Gassendi correctly understood its consequences in the analysis of projectile motion and other mechanical phenomena. However, he also presented other statements that conflict with the principle of inertia, and sometimes adopted a view similar to Galileo's "circular inertia" (Pav, 1966, p. 27).

6. DESCARTES'S FIRST LAWS OF NATURE

Another predecessor was René Descartes (1596-1650), who proposed a principle similar to Newton's first law. We know that the young Newton carefully studied Descartes's work *Principia Philosophiæ* and was strongly influenced by it (Whiteside, 1970, p. 10), but he never acknowledged his debt to the French philosopher (Cohen, 1964, p. 136).

The origin of Descartes's principle of conservation of motion was not the concept of *impetus*, but a completely different line of thought. He justified it by an argument from natural theology, with deep roots in Aristotelian and Platonist philosophy (Menn, 1990, pp. 217-218). Both Aristotle and Plato ascribed to the heaven a uniform circular motion proceeding from God. Descartes claimed that not only celestial but also sublunar motions are constant, because they all proceed equally from God (Menn, 1990, p. 227).

Descartes provided his first formulation of the law of conservation of motion in the unpublished *Le Monde*, written between 1629 and 1633 (Gabbey, 1971, p. 52). However, we will present his ideas in the form they appeared in the *Principia Philosophiæ* (1644), since this was the work studied by Newton.

XXXVII. First law of nature: that each thing remains in the same state, as far as it can; and anything that moves strives to move forever.

Since God is not liable to change, and he acts always in the same way, we can arrive to the knowledge of some rules, which I call the laws of nature, that are the secondary causes of the various motions that we notice in all the bodies. The first [law of nature] is that each particular thing, in so far as it is simple and undivided, remains in the same state, as far it can [*quantum in se est*], and that it only changes by external causes. And so we easily see that when some part of matter is square, it remains forever square, unless something happens that changes its form; and if it is resting, we do not believe that it will begin to move, unless it is impelled by another cause. Nor is there any stronger reason why, if it moves, spontaneously and without any impediment, its motion will continue. And from this we should conclude that whatever moves,

⁵ During the year of 1664 Newton studied works by René Descartes, Robert Boyle, Joseph Glanvil, Walter Charleton, Thomas Hobbes and Henry More (Whiteside, 1970, p. 7).

as far as it can, moves forever. (Descartes, 1644, p. 54)

XXXIX. Second law of nature: that every motion is itself straight; and what moves in a circle always strives to recede from the centre of the circle it describes.

The second law of nature is: each particular piece of matter, considered only in itself, never tends to continue its motion following oblique [curved] lines, but only in straight lines [...]. The cause of this rule, as of the former one, depends on the immutability and simplicity of the operations by which God conserves motion in matter. (Descartes, 1644, pp. 55-56)

According to Aristotelian physics, motion is a change or process and every change must be explained by a cause. As emphasized by Koyré, in Descartes's philosophy it is precisely because motion is a *state* that it is able to continue without any force or cause (Koyré, 1965, p. 67).

The phrase "state of motion" is nowadays a familiar one, and we do not perceive that it is a paradoxical concept. Notice that the English words "stay", "standing", "stationary", "station", "stable", "steady", "still", "statics" and "statue" are etymologically related to the Latin word *status*. All of them convey the idea of rest, not of motion.

One of Descartes's arguments for his first law of nature was the relativity of motion: rest and motion are not different states, since one body at rest relative to a ship will be moving relative to the shore (Descartes, 1644, p. 40). Therefore, no more action is required to keep a body at rest than to keep it in motion. Newton introduced a similar argument, when he presented his definition of inertia:

Resistance is vulgarly ascribed to those at rest, and impulse to those in motion; but motion and rest, as vulgarly conceived, are only relatively distinguished; nor are those bodies always truly at rest, which vulgarly are regarded to be so. (Newton, 1687, p. 2)

Isaac Bernard Cohen analyzed a curious phrase, "quantum in se est" (as far as it can), used by Newton in his first law of motion, and found out that it had been previously used by Descartes in his "first law of nature" (Cohen, 1964).

It seems that Descartes's ideas were the main influence on Newton's concept of inertia. However, there are some features of Newton's concept that are incompatible with Descartes's proposal: his acceptance of absolute motion; some theological concepts; his concept of activity of matter; and the idea of inertia as a "force".

7. SOME SPECIAL FEATURES OF NEWTON'S INERTIA

7.1 Theological concepts and absolute motion

For Descartes, space is a relation between material bodies – the place occupied by something is defined by the other things that touch it. For that reason, he accepted a strong principle of relativity of motion, as seen above, and this principle establishes the equivalence between rest and motion.

Although Newton did also accept the principle of relativity of motion, his views were quite different. For Newton, there is an absolute space and there is a difference between relative motion and absolute motion – although we cannot detect absolute translation, it is possible to detect absolute rotation and acceleration (Lacey, 1970; Laymon, 1978; Arthur, 1994;

Rynasiewicz, 1995).

Newton's acceptance of absolute space can be viewed as part of the framework of his dynamics, but it also has a theological component. According to him, God has a direct action upon the world, not only in creating it *as it is now*, but also in maintaining its order. For Newton, space is filled by God and is in some way the divine sense organ (*sensorium*), as he described in Query 31 of the second edition of his *Opticks* (Newton, 1718, p. 379).

According to Newton, God's presence and influence upon the world establishes an absolute space, independently of any bodies in the universe. "Since all created things exist along with God in the same spatio-temporal framework, the absolute motion of things is with respect to that alone" (McGuire, 1978, p. 507). So, God knows whether a body is really moving or not. In principle there could be inertia in the sense of resistance to motion, without a corresponding tendency to keep the motion of a body. Therefore, unlike Descartes, Newton required an *explanation* for the uniform motion of bodies not acted upon by external forces. As will be shown below, he did this by ascribing active powers to matter and interpreting inertia as an internal force.

7.2 Activity of matter

In ancient Greek thought, matter, as the material substratum of bodies, was characterized by its passivity; the activity of matter was due to *nature*, that is, *physis*. In the Medieval period, matter is also conceived as inert (Jammer, 1997, pp. 31, 35). The same idea was accepted by most philosophers of the seventeenth century, who believed that matter was entirely inert, and nothing intrinsic to matter could explain change (Silver, 1973, p. 599).

Newton also accepted that matter is a passive principle and cannot move itself (McMullin, 1978, p. 29); but bodies *do* move, and he was led to think about additional "active principles" that could *produce* motion. Newton's ontology included *force*, which cannot be reduced to matter, and that constitutes the dynamical principle of nature. Unless there were active forces at work in nature, the world would eventually become death and motionless (Newton, 1718, p. 375; Gabbey, 1971, p. 12).

It was this concept of matter endowed with active powers that Newton used in his principle of inertia.

8. INERTIA AS "FORCE"

In Newton's view, inertia is a *force* acting inside the bodies:

Definition 3. The inherent force [*vis insita*] of matter is a power of resisting, by which every body, as far as it can, continues in its state of resting, or of moving uniformly forward in a straight direction. (Newton, 1687, p. 2)

At this point, some of my readers might become really upset and say: "Wait a minute! We have always been told that inertial motion requires no force. Force produces acceleration, according to Newton's second law. Inertia is no force!"

This is not a wrong translation, however. According to Latin dictionaries, "*vis*" means primarily force, vigour (Smith & Lockwood, 2000, p. 810) or equivalent ideas: power, strength,

and efficacy. Newton always uses “vis” when he refers to forces, in our sense. Newton’s phrase “*materiæ vis insita*” can be translated as “the inherent *force* of matter”.

The idea of an internal force keeping bodies in motion appeared for the first time in one of Newton’s notebooks, in 1664 (Westfall, 1983, pp. 144, 146), and became clearer in later manuscripts.

Therefore, according to Newton, forces can produce both *change of motion* and *conservation of motion*.

9. IMPRESSED FORCE – “VIS IMPRESSA”

Newton’s second law does not state that *any force* produces changes of motion, but only “impressed force” (*vis impressa*) does: “Law II. The change of motion is proportional to the motive impressed force; and is made in the direction of the straight line in which that force is impressed” (Newton, 1687, p. 12).

Newton’s first law of motion describes that only “impressed forces” can change the states of rest and uniform motion – not other kinds of force. Notice also the definition of this concept: “Def. 4. Impressed force [*vis impressa*] is an action exerted upon a body, in order to change its state, either of resting, or of moving uniformly in a straight line” (Newton, 1687, p. 2).

There is, therefore, no contradiction between the first and second laws of motion. Newton’s second law of motion and his fourth definition are very clear, and both refer to a specific kind of force: *impressed force*, only⁶. Readers of the *Principia* usually pay attention to “force”, but not to “impressed”.

Newton used the phrase “vis insita” to describe the internal force of a moving body⁷. Was “vis insita” a key concept for Newton, or could he have used another phrase?

10. “VIS INSITA”, THE INHERENT FORCE

From 1684 onward, Newton wrote several versions of the work that was to become the *Principia* (Whiteside, 1991). All those drafts are easily found, nowadays, in Whiteside’s edition of Newton’s mathematical papers (Newton, 1974). It is relevant to check previous versions of his definitions and laws, to see if the wording was the same, or different.

In the first draft of the tract “*De motu corporum in gyrum*” that Newton sent to Halley in the Autumn of 1685, we already find the concept of *vis insita*: “Definition 2. And the force of a body [*vim corporis*] or inherent in a body [*corpori insitam*], [I call] that [force] by which it endeavours to persist in its motion following a straight line” (Newton, 1974, p. 30). In the same manuscript, Newton’s first law is called his second hypothesis: “Hypothesis 2. Every body by its inherent force [*vi insita*] alone proceeds uniformly into infinity following a straight line, unless it be impeded by something from without” (Newton, 1974, p. 32).

The other versions of Newton’s tract also used the same phrase “vis insita”. It was also maintained in the statement of the first law up to the 1685 draft that preceded the

⁶ Newton’s concept of impressed motive force is very different from our present day concept of force (proportional to acceleration), and is closer to our concept of impulse (Ellis, 1962, p. 274).

⁷ The Latin adjective *insitus* (feminine: *insita*) means primarily *implanted by nature*, *inborn*, *innate*, and in a secondary sense it means *taken in*, *incorporated* (Smith & Lockwood, 2000, p. 362).

publication of the *Principia* (Newton, 1974, p. 192). Therefore, Newton's use of the phrase "vis insita" was not casual. He chose this phrase and used it consistently in the several drafts of the *Principia*, keeping it also in all the printed editions of the work.

10.1 Vis insita in medieval thought

Was "vis insita" a combination of words created by Newton, or was it a concept that was already in use before? A careful search shows that it had been used and discussed since the Middle Ages, by such outstanding authors as Guillaume de Conches, Bonaventure, Thomas Aquinas and Albertus Magnus.

"Vis insita", a power or force inherent in material bodies, appeared in medieval philosophical works discussing and transforming Aristotle's concept of nature (*physis*) by combining it with Christian theology. In the *Metaphysics* Aristotle defined nature "in its first and fundamental sense as the substance of things that have that principle of movement and rest in themselves", and in the *Physics* as "the principle of motion and rest for things in which it exists in a primordial way by itself and not by accident" (Pacheco, 2000, p. 281). In the 12th century, however, Alain de Lille (or Alanus ab Insulis, ca. 1128-1202) and Guillaume de Conches (ca. 1080-1150) proposed a new definition of *physis* as an internal power or force of reproduction implanted by God in natural things. Guillaume de Conches defined it as "Nature is that inherent force [*vis insita*] in bodies that produces the similar from the similar" (Guillaume de Conches, 1997, p. 18).

According to Guillaume de Conches, God created the universe directly and then implanted into the creatures an inherent force that allowed all natural bodies to reproduce themselves. "It is, therefore, the work of nature that men are born of men, asses from asses, and so on" (Guillaume de Conches, 1997, p. 18). The idea (but not the phrase) appears in Aristotle's *De anima* (Book II, Part 4, 415a; Aristotle, 1955, p. 203).

In his *Philosophia pauperum*, Albertus Magnus (ca. 1200-1280) describes several meanings of "nature" and attributes the concept of "vis insita" to Avicenna (Albertus Magnus, 1651, p. 1). He cited approvingly the same idea in other works, such as in his commentary to Aristotle's *Physics* (Wegmann, 2005, p. 54). However, his student Thomas Aquinas (1225-1274) strongly criticized those who wanted to correct the Aristotelian definition of nature saying that nature is an inherent force in things [*vis insita rebus*] (Aertsen, 1988, p. 77).

In Newton's time, "vis insita" had become a usual phrase, defined by Pierre Godard, in his *Lexicon philosophicum*: "Active NATURE is the force inherent in bodies [*vis insita rebus*], that produces the similar from the similar, and that is conserved in its being" (Godard, 1675, p. 183).

Bernard Cohen pointed out that "vis insita" appeared in books that were read by the young Newton, such as Johann Magirus's *Physiologia Peripatetica libri sex*, and Henry More's *The immortality of the soul* (Cohen, 2002, p. 60). However, those works did not give much emphasis to this concept, and I cannot see how they could have influenced Newton's use of the phrase. I suggest that Newton got the concept of *vis insita* from another source: alchemical works.

Newton began reading alchemical books in the late 1660s. In April 1669, he spent £1. 8s. buying the *Theatrum chemicum* (1659-1661), a six volume compendium of alchemical treatises (Dobbs, 1983, pp. 131, 152). Of all the books Newton owned, it was this one that had most corrections, references and other marginal annotations.

The first treatise contained in the second volume of the *Theatrum chemicum* is Gaston Duclos' *Apologia chrysopoeiæ et argyropoeiæ*, where we find several mentions of the concept of "vis insita". According to that work, the alchemical art has the power of giving birth to a new form in matter, comparable to the way nature acts in the reproduction of animals. "In the same way that in the semen of dogs there is an inherent force [*vis insita*] which moves the semen to the generation of a dog, that power and faculty to produce silver or gold does not exist in any other semen, but in the silvery or goldenly semen that contains it" (Duclos, 1613, p. 23). Gaston compares the gradual perfection of metals (their transformation in nobler metals) to the ripening of grapes, that is produced by their inherent force [*vis insita*] (Duclos, 1613, p. 50).

In several other alchemical works we also find the concept of *vis insita*. Cornelius Petrus' *Sylva philosophorum* contains a diagram (Fig. 1) where we read: "Natura est quædam res, insita rebus ex similibus similia procreans", which means "Nature is that thing inherent to things that procreates the similar from similar".

The philosophical and alchemical concept of *vis insita* meant a power implanted upon the bodies by God, that was conserved by them and that allowed them to reproduce themselves. It included the idea of active forces in matter, and was regarded as an efficient cause in the generation of animals, plants and metals. I suggest that Newton chose the same phrase to denote the force that conserves the motion of bodies because he read and was influenced by those works.



Fig. 1: One of the figures of the alchemical work *Sylva philosophorum*, by Cornelius Petrus (Kossowski de Rola, 1973, p. 121).

11. EVIDENCE FOR NEWTON'S FIRST LAW

Up to this point we have described *ideas*, not experiments and observations. Which facts did Newton provide to support the first law of motion? After stating his first law, Newton described some phenomena – but nothing that could be regarded as an attempt to prove the first law of motion.

Projectiles persevere in their motions, so far as they are not retarded by the resistance of the air, or impelled downwards by the force of gravity. A top, whose parts by their cohesion are perpetually drawn aside from rectilinear motion, does not cease its rotation, otherwise than as it is retarded by the air. The greater bodies of the planets and comets, meeting with less resistance in more free spaces, preserve their motions both progressive and circular for a much longer time. (Newton, 1687, p. 12)

Remark that Jean Buridan had already explained the motion of projectiles, the rotation of a mill wheel and the motion of the celestial orbs using the idea of *impetus* (Franklin, 1976, pp. 538-539; Clagett, 1959, pp. 532-538).

Newton never did any experiment to test or to “prove” the law of inertia. Notice that he described his three laws of motion as “axioms”. That means that they required no proof – they were used as undemonstrated assumptions to prove other propositions.

Besides that, according to several contemporary authors, the principle of inertia can be understood as a *convention* and it cannot be confirmed by experiments, since it describes the behavior of bodies under conditions that are incapable of realization: motion of a body completely isolated from every external influence (Westfall, 1972, p. 184; Coelho, 2007, pp. 955-958).

When contemporary authors attempt to present “proofs” of the principle of inertia – even if they use historical experiments – they are not following Newton’s approach, because his first law, as understood by himself, requires no proof⁸.

12. EDUCATIONAL ISSUES

From secondary school to the university, students are taught only a “clean”, simplified version of Newton’s concept of inertia. Both teachers and students only pay attention to a few components of Newton’s thought – such as his mathematical way of dealing with motion – and ignore other components that seem “strange” for us.

What about the other components of Newton’s thought? Are they an essential part of Newton’s mechanics, or just some excusable mad ideas? Should we teach our students *the whole Newton...* of perhaps this is X-rated history of science?⁹ Instead of the “adult version” of Newton’s thought one might prefer the textbook, childish version. However, this is a *false* account of the historical Newton. Should we tell lies about Newton’s ideas?

⁸ Calvin Kalman claimed that “Galileo, who discovered the law [of inertia] went to some length to demonstrate this [experimental] support” (Kalman, 2009, p. 25) and then presented some of Galileo’s arguments as if they were experimental evidence for Newton’s first law. Kalman seems unaware that Galileo’s arguments concerning the motion of a body in inclined planes and horizontal plane are not related to the idea of a rectilinear inertia, but with circular motion around the center of the Earth (Dutton, 1999, p. 54).

⁹ Stephen Brush (1974) discussed the effects that different historiographic approaches could produce in science teaching.

On the other hand, we have a very complex story about Newton's concept of inertia. What could be the use of teaching such a strange Newton? I suggest that this complex history should be taught, in a very detailed version, to both physics teachers and university physics students; and a simpler version (although also a complex version) should be taught to high school students. Why? Because it conveys important messages about science, both as a process and as a result.

The Whig linear and progressive kind of history of science is the most popular one. It presents a series of authors who improve the ideas of their forerunners, until we arrive to the perfect idea (our ideas, of course). This is a wrong view of the actual development of science. Instead of a linear chain of contributions, there is always a network of many conflicting influences that interact and produce partial effects, and they contribute in a very complex way to any historical situation. "It is nothing less than the whole of the past, with its complexity of movement, its entanglement of issues, and its intricate interactions, which produced the whole of the complex present" (Butterfield, 1959, p. 19).

It is impossible to describe history in all its complexity; but complexity must be present in any adequate historical account; and the narrative should include the warning that it is a simplification. In the present case, I must warn my readers that I did not describe *all* influences acting upon Newton's concept of inertia, of course.

Some of the influences I described are well known (they have already been described by historians of science). My main historical contribution here was an elucidation of some early uses of "vis insita"¹⁰. Many other known influences could be described, and others could be found out, if one looked for them.

If a physics teacher is acquainted with the complexity of Newton's concept of inertia, he will be able to understand that:

- What we teach is not what Newton thought.
- Telling our students that we are teaching *Newton's* first law is a lie.
- We cannot point out the "father" (or the "mother") of the concept of inertia we teach.
- We cannot use Newton's authority to impose our current ideas to our students.

Of course, this is a very general situation, and the same could be said about Darwin, Lavoisier, Mendel, Dalton, Maxwell, Copernicus, etc.

This specific historical case study may be used as an example of several relevant metascientific messages. Scientific concepts arise from a complex set of influences, and they may be inconsistent or contradictory at any given time¹¹. At each historical situation, for each particular researcher (and even for the same researcher, at different times of his life) a concept will generally have different meanings¹², even when the same word is used to represent them. In particular, the "official" concept of inertia we use nowadays is just one

¹⁰ According to private communication received from professor James McGuire, he arrived to similar conclusions almost two decades earlier (McGuire, 1994). Unfortunately, I have been unable to consult his paper.

¹¹ In Newton's thought, the complementary concepts of inert matter and active principles produced incoherence or tension (McMullin, 1978, p. 33). Also, Newton's acceptance of the principle of relativity and the belief in absolute space and motion also generated a conflict in the foundation of Newton's first law of motion.

¹² "An assessment of Newton's general position concerning the ontological problem of force depends on which Newton we choose to consider" (Gabbey, 1971, p. 10).

choice between several other possibilities, and there is no reason to think that our current choices are the “correct”, “final” ones.

Students (and teachers) may feel frustrated to be told that they are learning just a simplified version of a much more complex history. I believe that it is better to tell them the truth than to omit it and let them think that they know everything. Being aware of the incomplete status of our knowledge (historical and scientific) is a necessary condition for the search of a more complete and adequate knowledge.

To close this paper, let me ask you a few questions: Taking into account this historical account, what concept of inertia should we teach, and why? Should we teach the textbook version of the principle of inertia? Should we teach Newton’s concept? Why not? Could we convince Newton to accept our current didactic presentation of “Newton’s first law”?

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is grateful to the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and to the State of São Paulo Research Foundation (FAPESP) for supporting this research.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- AERTSEN, Joannes Adrianus. *Nature and creature: Thomas Aquinas’s way of thought*. Translated from the Dutch by Herbert Donald Morton. Leiden: E. J. Brill, 1988.
- ALBERTUS MAGNUS. *Miscellanea*. Operum tomus vigesimus-primus. Lion: Cude Prost, Pierre & Claude Rigaud, Jérôme Delagarde, Jean Antoine Hughetan, 1651.
- ARISTOTLE. De anima. Translated by John Alexander Smith. In: ROSS, William David (ed.). *The works of Aristotle*. Oxford: Clarendon Press, 1955. 3 vols.
- ARTHUR, Richard. Space and relativity in Newton and Leibniz. *The British Journal for the Philosophy of Science* **45**: 219-240, 1994.
- BUTTERFIELD, Herbert. *The Whig interpretation of history*. London: G. Bell and Sons, 1959.
- CHARLETON, Walter. *Physiologia Epicuro-Gassendo-Charltoniana, or, A fabrick of science natural, upon the hypothesis of atoms founded by Epicurus, repaired by Petrus Gassendus; augmented by Walter Charleton*. London: Printed by Tho. Newcomb for Thomas Heath, 1654.
- CLAGETT, Marshall. *The science of mechanics in the Middle Ages*. Madison: University of Wisconsin Press, 1959.
- COELHO, Ricardo Lopes. The law of inertia: how understanding history can improve physics teaching. *Science & Education* **16**: 955-974, 2007.
- COHEN, Isaac Bernard. ‘Quantum in se est’: Newton’s concept of inertia in relation to Descartes and Lucretius. *Notes and Records of the Royal Society of London* **19**: 131-155, 1964.
- . Newton’s concepts of force and mass, with notes on the Laws of Motion. Pp. 57-84, in: COHEN, Isaac Bernard; SMITH, George Edwin (eds.). *The Cambridge companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- DESCARTES, René. *Principia philosophiæ*. Amsterdam: Louis Elzevir, 1644.

- DIJKSTERHUIS, Eduard Jan. *The mechanization of the world picture*. Princeton: Princeton University Press, 1986.
- DOBBS, Betty Jo Teeter. *The foundations of Newton's alchemy, or, "The hunting of the greene lyon"*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- DRAKE, Stillman. Impetus theory reappraised. *Journal of the History of Ideas* **36**: 27-46, 1975.
- DUCLOS, Gaston. Apologia chrysopoeiæ & argyropoeiæ adversus Thomam Erastum: in qua disputantur & docetur, an, quis & quomodo sit chrysopoeia & argyropoeia. Pp. 3-83, in: ZETZNER, Lazarus (ed.). *Theatrum chemicum, præcipuos selectorum auctorum tractatus de chemiæ et lapidis philosophici, antiquitate, veritate, jure, præstantia, & operationibus continens [...]: volumen secundum*. Strasbourg: sumptibus Lazari Zetzneri, 1613.
- DUHEM, Pierre Maurice Marie. *Études sur Léonard de Vinci. Troisième série: Les précurseurs Parisiens de Galilée*. Paris: Hermann, 1913.
- . Research on the history of physical theories. *Synthese* **83** (2): 189-200, 1990.
- DUTTON, Blake D. Physics and metaphysics in Descartes and Galileo. *Journal of the History of Philosophy* **37** (1): 49-71, 1999.
- ELLIS, Brian D. Newton's concept of motive force. *Journal of the History of Ideas* **23** (2): 273-278, 1962.
- FEYERABEND, Paul. *Against method*. 3. ed. London: Verso, 1993.
- FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the Middle Ages. *American Journal of Physics* **44**: 529-545, 1976.
- . Stillman Drake's "impetus theory reappraised". *Journal of the History of Ideas* **38**: 307-315, 1977.
- GABBEY, Alan. Force and inertia in seventeenth-century dynamics. *Studies in History and Philosophy of Science* **2**: 1-67, 1971.
- GODARD, Pierre. *Lexicon philosophicum. Item, accuratissima totius philosophiæ summa*. Paris: Viduam Ioannis de la Caille & Robertus J. B. de la Caille, 1675.
- GUILLAUME DE CONCHES. *A dialogue on natural philosophy (Dragmaticon Philosophiæ)*. Translated by Italo Ronca and Matthew Curr. Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1997.
- HERIVEL, John. *The background to Newton's Principia: a study of Newton's dynamical researches in the years 1664-84*. Oxford: Clarendon Press, 1965.
- JAMMER, Max. *Concepts of mass in classical and modern physics*. New York: Dover, 1997.
- KALMAN, Calvin. A role for experiment in using the law of inertia to explain the nature of science: a comment on Lopes Coelho. *Science & Education* **18** (1): 25-31, 2009.
- KEPLER, Johannes. *Epitome astronomiæ Copernicanæ*. Frankfurt: Johann Gottfried Schönwetter, 1635.
- KLOSSOWSKI DE ROLA, Stanislas. *Alchemy. The secret art*. London: Thames and Hudson, 1973.
- KOYRÉ, Alexandre. *Newtonian studies*. Cambridge: Harvard University Press, 1965.
- . *Études galiléennes*. Paris: Hermann, 1966.
- LACEY, Hugh M. The scientific intelligibility of absolute space: a study of Newtonian argument. *The British Journal for the Philosophy of Science* **21** (4): 317-342, 1970.
- LAYMON, Ronald. Newton's bucket experiment. *Journal of the History of Philosophy* **16** (4): 399-413, 1978.

- MARTINS, Roberto de Andrade. Natural or violent motion? Galileo's conjectures on the fall of heavy bodies. *Dialoghi – Rivista di Studi Italiani* **2** (1/2): 45-67, 1998.
- MCGUIRE, James E. Existence, actuality and necessity: Newton on space and time. *Annals of Science* **35**: 463-508, 1978.
- . Natural motion and its causes: Newton and the 'vis insita' of bodies. Pp. 305-329, in: GILL, M. L.; LENNOX, J. G. (eds.). *Self-motion: from Aristotle to Newton*. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- MCMULLIN, Ernan. *Newton on matter and activity*. Notre Dame: University of Notre Dame, 1978.
- MENN, Stephen. Descartes and some predecessors on the divine conservation of motion. *Synthese* **83**: 215-238, 1990.
- NEWTON, Isaac. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. London: Joseph Streater, 1687.
- . *Opticks: or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light*. The second edition, with additions. London: W. and J. Innys, 1718.
- . *The mathematical papers of Isaac Newton*. Volume VI. 1684–1691. ed. by D. T. Whiteside. With the assistance in publication of M. A. Hoskin and A. Prag. Cambridge: Cambridge University Press, 1974.
- PACHECO, Maria Cândida Monteiro. Les transformations du concept de *natura* au XII^e siècle. Pp. 281-292, in: HAMESSE, Jacqueline; STEEL, Carlos (eds.). *L'élaboration du vocabulaire philosophique au Moyen Âge*. Turnhout: Brepols, 2000.
- PAV, Peter Anton. Gassendi's statement of the principle of inertia. *Isis* **57** (1): 24-34, 1966.
- RYNASIEWICZ, Robert. By their properties, causes and effects: Newton's scholium on time, space, place and motion. *Studies in History and Philosophy of Science* **26**: 133-153, 295-321, 1995.
- SHAPER, Dudley. *Galileo: a philosophical study*. Chicago: University of Chicago Press, 1974.
- SHEA, William R. *Galileo's intellectual revolution*. New York: Science History Publications, 1972.
- SILVER, Bruce. Berkeley and the principle of inertia. *Journal of the History of Ideas* **34**: 599-608, 1973.
- SMITH, Sir William; LOCKWOOD, Sir John. *Latin English dictionary*. Edinburgh / London: Chambers / John Murray, 2000.
- WEGMANN, Milène. *Naturwahrnehmung im Mittelalter im Spiegel der lateinischen Historiographie des 12. und 13. Jahrhunderts*. Berlin: Peter Lang, 2005.
- WESTFALL, Richard S. Circular motion in seventeenth-century mechanics. *Isis* **63** (2): 184-189, 1972.
- . *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- WHITESIDE, Derek Thomas. Before the Principia: the maturing of Newton's thoughts on dynamical astronomy, 1664-1684. *Journal of the History of Astronomy* **1**: 5-19, 1970.
- . The prehistory of the 'Principia' from 1664 to 1686. *Notes and Records of the Royal Society of London* **45**: 11-61, 1991.

THE HISTORY OF THE PHOTOELECTRIC EFFECT AS DEPICTED IN LABORATORY INSTRUCTIONS

Stephen Klassen^{*}
 Mansoor Niaz^{**}
 Don Metz[†]
 Barbara McMillan^{††}
 Sarah Dietrich[‡]

Abstract: *There is little research and publication on the pedagogical aspects of the photoelectric effect as used in the undergraduate student laboratory. To help ameliorate the situation, we have analyzed the instructions in 38, electronically published laboratory manuals for the photoelectric effect. The analyses were based on history and philosophy of science criteria that we had developed for evaluating the presentation of the photoelectric effect in introductory, university-physics textbooks in English, published in the USA and Canada. The results show that writers of laboratory instructions do not pay sufficient attention to the relevant background for the photoelectric effect. In our study, none of the instructions achieved a score of excellent, only 5% were scored as satisfactory, and only 7% mentioned the various aspects contained in our criteria. These results for our analysis of laboratory instructions are significantly less favorable than those achieved for physics textbooks in our previous study. Based on our work, we recommend that several historical aspects be included in all laboratory instructions for the photoelectric effect.*

Key-words: *Photoelectric effect, laboratory instructions, physics instruction, history of photoelectric effect*

1. INTRODUCTION

Shortly after quantum mechanics was established as a viable theory, the photoelectric effect became an important constituent of physics instruction, especially in providing a basis for understanding the concept of the photon. Introductory physics textbooks began to include

^{*} Faculty of Education and Department of Physics, University of Winnipeg, Winnipeg, MB R3B 2E9, Canada;

^{**} Epistemology of Science Group, Department of Chemistry, Universidad de Oriente, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela;

[†] Faculty of Education, University of Winnipeg, Winnipeg, MB R3B 2E9, Canada;

^{††} Faculty of Education, University of Manitoba, Winnipeg, MB R3T 2N2, Canada;

[‡] Faculty of Education, University of Winnipeg, Winnipeg, MB R3B 2E9, Canada.

the topic soon after the photon was unequivocally accepted by the physics community at the 1927 Solvay Conference (Bacciagaluppi & Valentini, 2006; Klassen, 2009; Wright, 1937). In student practical work, the earliest publications that detailed the photoelectric effect in a student laboratory came in 1937 and 1946 (Wright, 1937; O'Leary, 1946). These early efforts, however, were complex and expensive. Subsequent literature on the student photoelectric laboratory did not resurface until the 1960s (Davis, 1961; Hanson & Clotfelter, 1966). At that time, the photoelectric effect began to be used in undergraduate student laboratories to a somewhat greater extent. Even so, the photoelectric effect was not used extensively until developments in solid-state electronics allowed the existing difficulties to be overcome in the 1970s.

Most of the literature on the photoelectric effect as performed in the student laboratory has focused on overcoming technical difficulties, and there is very little work focusing specifically on the pedagogical aspects of the laboratory¹. In the more general area of classroom teaching of the photoelectric effect, the pedagogical aspects have only begun to be addressed (Steinberg, 1996; McKagan, 2009; Asikainen & Hirvonen, 2009). In our recent publication (Niaz, Klassen, McMillan, and Metz, 2010), we discussed the manner in which the photoelectric effect and its history is portrayed in a sample of 103 introductory, university-physics textbooks. Unfortunately, we found, based on scoring criteria that we developed, that the “historical elements are largely ignored or distorted in the textbooks, with only three of the texts obtaining a score of satisfactory and none a score of excellent” (Niaz *et al.*, 2010).

In the current study, we have applied our previously developed criteria to a sample of 38 electronically published undergraduate physics laboratory instructions on the photoelectric effect, to evaluate the manner in which the historical underpinnings are portrayed in that instructional context. The paper includes a literature review, an abridged summary of the historical background of the photoelectric effect, the criteria that were applied to the study and a description of the method of application, a presentation of results, and a discussion of the implications of the study.

2. LITERATURE REVIEW

The literature regarding the photoelectric experiment in the undergraduate student laboratory dates back to 1937, with a rather complex implementation of the experiment (Wright, 1937). The author, Wright, explains that “[t]he general exclusion of an experimental test of [Einstein’s] equation from undergraduate courses in modern physics seems to be due to the complexity of the problem rather than to a feeling that it is unessential” (Wright, 1937, p. 65). This insight sets the tone for most of the succeeding publications on the topic. The reason that university physics teachers have kept coming back to this experiment is primarily that “[t]he experiment does, however, contain the essentials of the train of thought in which Einstein’s equation made its first impact and this alone should justify its inclusion in the undergraduate course” (Wright, 1937, p. 67). Precisely this aspect, the conceptual and historical one, as represented by Einstein’s “train of thought,” is what we wish to emphasize in our study.

¹The one exception is De Leone & Oberem, 2004.

Based on the lack of any literature relating to the use of the photoelectric effect in the student laboratory in the period from 1946 to 1961, it is probable that the laboratory was not widely used. Since then, most of the publications relating to its use in the student laboratory deal with the design of the apparatus.

Literature relating to the pedagogical aspects of the photoelectric effect appears only recently. The general consensus is that it is difficult for students to gain an in-depth understanding of the photoelectric effect, in part, because students must also have a basic understanding of wave theory, electromagnetism, and circuits (De Leone & Oberem, 2004) in order to understand the photoelectric effect. In addition, students may have difficulty applying different models (for example, the classical wave theory and the photon theory of light) to the same phenomenon (Asikainen & P. E. Hirvonen, 2009). One aspect of instruction that has been proposed as useful is the inclusion of historical and philosophical aspects relating to the photon (De Leone & Oberem, 2004). The path from the classical wave theory through the early photon theory to current photon theories becomes meaningful when placed in its historical context and when the discussion includes some of the difficulties in trying to reconcile the classical and quantum concepts. Such a context also provides a basis for critical discussions of issues regarding the nature of science, such as the theory-laden nature of observations, the role of rival hypotheses and the tentative nature of scientific explanations, and the underdetermination of scientific theories by experimental evidence.

3. HISTORICAL OUTLINE

For a comprehensive summary of the historical background to the photoelectric effect, the reader is referred to previous publications by the authors (Klassen, 2009; Niaz *et al.*, 2010). To provide a background for the current study, we present an abridged historical summary.

The photoelectric effect was discovered accidentally in 1887 by Hertz, but he did not pursue a study of the phenomenon. That task was first taken up in 1888 by Hertz's student, Wilhelm Hallwachs, who established that a negatively charged zinc plate discharged rapidly when exposed to ultraviolet light, but showed no response to the light when it was charged positively and, moreover, no effect was produced when a charged plate was illuminated by visible light. A study of the negative electricity emitted in the photoelectric effect was taken up by J. J. Thomson in 1899. Thomson demonstrated that the emission consisted of electrons or "corpuscles," as he called them at the time. Hertz's former research assistant, Philipp Lenard, established, in 1902, that the number of electrons given off, but not their energy, was affected by the intensity of the light illuminating a metal plate. Lenard also found, to his surprise, that the energy of the electrons depended on the wavelength of the light and that shorter wavelength light tended to yield faster electrons; however, Lenard was unable to develop adequate experimental conditions to determine precisely how this effect varied. Lenard and others developed explanations for the photoelectric effect that were in line with the classical wave theory of light. These theories were known as "trigger theories" in that they postulated that the incoming light only *triggers* the release of electrons and that the energy of the ejected electrons comes not from the light energy but from inside the atom. At the time these theories were advanced, the structure of the atom was not known.

It was not until 1905 that Einstein published his revolutionary explanation of the photoelectric effect, based on his “light quantum” hypothesis (Einstein, 1905). His theory explained the photoelectric effect fully, but it was controversial. Einstein proposed that light behaves as though it consists of a stream of independent, localized units of energy that he called *light quanta*. According to Einstein, it was possible for one light quantum to be absorbed by a single electron, imparting to it all of its energy. Monochromatic light of frequency ν can, therefore, only grant electrons energy equal to $h\nu$, where h is Planck’s constant. Considering a metal with light shining on the surface, if an electron is near the surface, some of its newfound energy may be lost in moving to the surface and escaping any electrical forces at the surface, requiring a quantity of energy, ϕ , which is a property of the metal itself. The remaining energy, E , is observed as the kinetic energy, $\frac{1}{2}mv^2$, of the electron as it is ejected from the surface of the metal. The energies of the electrons so ejected will have a maximum value since some may originate from beneath the surface and others (with maximum energy) originate exactly at the surface. The governing relationship is, then, very simply,

$$E = h\nu - \phi. \quad (1)$$

Einstein predicted that the electrical potential required to stop electrons emitted from the surface “should be a linear function of the frequency of the incident light, when plotted in Cartesian coordinates, and its slope should be independent of the nature of the substance investigated” (Jammer, 1966, p. 35).

Einstein’s light quantum concept was rejected by the physics community. One of the more significant opponents to Einstein’s theory was Max Planck. Another opponent was Robert Millikan, who was a strong believer in the wave theory of light. From 1912 to 1915, Millikan put all his efforts into measuring the photoelectric effect, hoping to disprove Einstein’s hypothesis. By 1915, it had become clear to Millikan that he had verified Einstein’s equation exactly. Although Einstein’s *equation* was strongly supported by Millikan’s results, this fact cannot be construed as conclusive evidence of Einstein’s *theory*. As has been established in the philosophy of science, no amount of experimental evidence can provide conclusive proof for a theory. When Millikan published his results in 1916, he described Einstein’s light quantum hypothesis as a “bold, not to say reckless, hypothesis of an electro-magnetic light corpuscle of energy $h\nu$, which flies in the face of thoroughly established facts of interference” and which “now has been pretty generally abandoned” (Millikan, 1916, p. 355). Like most scientists, Millikan held strong, prior theoretical beliefs that he naturally resisted changing. So, Millikan, albeit failing to disprove Einstein’s equation, was able to measure h to within 0.5% of the value proposed by Planck.

4. RESEARCH STUDY DESIGN

Based on the historical reconstruction of the photoelectric effect, as presented in our previous study, we chose four of the previously established criteria as most relevant for lab instructions (i.e., Criteria 1 through 4 below). We used the following ratings to evaluate the

laboratory instructions: Excellent (E) = 3 points, Satisfactory (S) = 2 points, Mention (M) = 1 point, and No Mention (N) = 0 point. We used the evaluative criteria, as listed below.

C1. Einstein's quantum hypothesis to explain the photoelectric effect

For the first criterion to be met, it is important for the instructions to contain the following aspects:

- (a) Einstein's quantum hypothesis constituted a rival to Lenard's trigger hypothesis.
- (b) Einstein explained the finding that the velocity of ejected electrons would depend on the frequency and not the intensity of incident light.
- (c) Light consists of localized quanta of energy, so an electron in an atom will receive energy from only one photon at a time.
- (d) Einstein predicted that the stopping potential of the metal when plotted against the frequency of the incident light would give a straight line, whose slope would provide Planck's constant, h .

The ratings were applied in the following way:

- Excellent: description of aspect (a) along with any other aspect, with sufficient elaboration,
- Satisfactory: aspects (b), (c), and (d) with adequate elaboration,
- Mention: any two aspects, except (a) with some elaboration, and
- No Mention: one or none of the four aspects.

C2. Lack of acceptance of Einstein's quantum hypothesis in the scientific community

For the second criterion to be met, it is important for the instructions to contain the following aspects:

- (a) Truly novel ideas are generally accepted very slowly.
- (b) Einstein's hypothesis was not accepted by the scientific community, including Planck the "originator" of the quantum hypothesis, for many years.
- (c) The main objection to Einstein's hypothesis was that it seemed to refute the highly accepted classical wave theory of light.

The ratings were applied in the following way:

- Excellent: description of aspects (a), (b), and (c) with sufficient elaboration,
- Satisfactory: aspects (b) and (c) with adequate elaboration,
- Mention: aspect (b) or (c) with some elaboration, and
- No Mention: none of the three aspects.

C3. Millikan's experimental determination of the Einstein photoelectric equation and Planck's constant, h

For the third criterion to be met, it is important for the instructions to contain the following aspects:

- (a) underdetermination of scientific theories by experimental evidence, viz., no amount of experimental evidence can provide conclusive proof for a theory,
- (b) experimental details of Millikan's determination of Einstein's photoelectric equation and Planck's constant h , and
- (c) the graph of stopping potential against frequency, whose slope would provide Planck's constant, h .

The ratings were applied in the following way:

- Excellent: description of aspect (a) and one other aspect with sufficient elaboration,
- Satisfactory: aspects (b) and (c) with adequate elaboration,
- Mention: aspect (b) or (c) with some elaboration, and
- No Mention: none of the three aspects.

C4. Millikan's presuppositions about the nature of light

For the fourth criterion to be met, it is important for the instructions to contain the following aspects:

- (a) Before doing an experiment, scientists invariably have prior theoretical beliefs or presuppositions, and they resist any change in those epistemological beliefs.
- (b) In the present case, Millikan strongly believed in the wave theory of light.
- (c) Millikan (Millikan, 1916) presented experimental evidence to support Einstein's photoelectric equation and in the same paper considered his underlying hypothesis to be "... the bold, not to say the reckless hypothesis ..."

The ratings were applied in the following way:

- Excellent: description of aspects (a), (b), and (c) with sufficient elaboration,
- Satisfactory: aspects (a) and (b) with adequate elaboration,
- Mention: aspects (b) and (c) with some elaboration, and
- No Mention: none of the three aspects.

Procedure for Applying the Criteria

Evaluation of the laboratory instructions took place collaboratively in three phases with inter-coder agreement between the evaluations reaching 100% between phases 2 and 3. Given the criteria, rating, and phases of the evaluation process and our common epistemological framework, with respect to questions associated with the history and philosophy of science, we are confident that our evaluations of the 38 sets of laboratory instructions are both valid and reliable.

Table 1: Evaluation of photoelectric lab instructions based on four criteria.

No.	University	Criteria/Score				Total Score
		C1	C2	C3	C4	
1	Austin Peay State University, 2007	S	N	N	N	2
2	Cabrillo College, 2007	N	N	N	N	0
3	Columbia University, 2009	S	N	N	N	2
4	Dalhousie University, 2009	M	N	N	N	1
5	Dartmouth University, 2003	M	N	N	N	1
6	Davidson College, 2003	N	N	N	N	0
7	Duke University, 2007	N	N	N	N	0
8	Florida International University, 2007	N	N	N	N	0
9	School of Physics at Georgia Tech, 2009	N	N	N	N	0
10	University of Guelph, 2009	M	N	M	N	2
11	Mount Holyoke College, 2004	S	N	N	N	2
12	Houghton College, 2008	M	N	N	N	1
13	Iowa University, 2007	N	N	N	N	0
14	St. Lawrence University, 2009	N	N	N	N	0
15	St. Lawrence University, 2009	N	N	N	N	0
16	Miami University, 2001	M	N	N	N	1
17	University of Michigan, 2009	S	N	N	N	2
18	Massachusetts Institute of Technology, 2009	M	N	N	N	1
19	University of Notre Dame, 2009	S	N	N	N	2
20	New York University, 2007	N	N	N	N	0
21	Penn State University, 2009	S	N	N	N	0
22	SUNY Potsdam, 2000	N	N	N	N	0
23	Princeton University, 2009	N	N	N	N	0
24	University of Queensland, 2008	N	N	N	N	0
25	University of Redlands, 2009	N	N	N	N	0
26	University of Regina, 2009	N	N	N	N	0
27	Rowan University, 2009	N	N	N	N	0
28	Ryerson, 2008	N	N	N	N	0
29	San Francisco State University, 2000	N	N	N	N	0
30	University of California San Diego, 2007	N	N	N	N	0
31	University of California San Diego, 2009	N	N	N	N	0
32	Stony Brook University, 1999	N	N	M	N	1
33	Stony Brook University, 2007	N	N	M	N	1
34	Tarleton State University, 2001	N	N	N	N	0
35	Uppsala University, 2006	M	N	N	N	1
36	University of Wisconsin-Madison, 2007	M	N	N	N	1
37	University of Wisconsin-Madison, 2009	N	N	N	N	0
38	National University of Singapore, 2010	S	N	N	N	2

Table 2: Percentage of Lab Instructions with Each Score.

Rating	Criterion/percent				Average
	C1	C2	C3	C4	
No mention	61	100	92	100	88
Mention	18	0	8	0	7
Satisfactory	21	0	0	0	5
Excellent	0	0	0	0	0

5. RESULTS AND DISCUSSION

None of the manuals had a presentation that could be classified as Excellent on all four criteria (See Tables 1 and 2). In general, the manuals ignored the historical context and the difficulties involved in understanding the experimental data that led to alternative interpretations.

Criterion 1: Einstein's quantum hypothesis to explain the photoelectric effect

It is interesting to observe that only 8 (21%) of the manuals had a Satisfactory (S) presentation on Criterion 1 (see Tables 1 and 2), as they did not refer to aspect (a), namely "Einstein's quantum hypothesis constituted a rival to Lenard's trigger hypothesis." One manual referred to Lenard's contribution in the following terms: "In 1902, Philipp von Lenard made the observations of the photoelectric effect that challenged the conventional wisdom of the day, and prompted Einstein's famous explanation of the effect" (Dalhousie University, 2009, p. 1). Manuals 4, 18, 21, 30, and 31 made a similar reference to the work of Lenard (see Table 1). In contrast to the lab manuals, our previous study (Niaz *et al.*, 2010) reported that 48% of introductory, university-physics textbooks were classified as Satisfactory (S) on this criterion.

Of the few manuals which could be classified as Satisfactory (S) on this criterion, one, in particular, made a good explanation of Einstein's quantum hypothesis, even though it did not refer to the classical explanation of the effect by Lenard, which already existed by 1905:

Experimentally, while the number of emitted photoelectrons increases with the incident light intensity, the maximum kinetic energy of the emitted photoelectrons is observed to be independent of the intensity but does depend on the frequency ν (and on the wavelength λ since $\nu\lambda = c$, the velocity of light). Einstein provided an explanation (for which he received the Nobel prize in 1921) of the observations in terms of the quantum picture of light first proposed by Planck in 1901 ... When a photon of energy $E = h\nu$ is completely absorbed by an electron in a metal, all of the energy of the photon is converted into kinetic energy K of the electron. An amount of energy ϕ , called the work function of the metal, is required to free the electron from the surface of the metal. Therefore, the emitted photoelectrons should have a maximum kinetic energy $K_{\max} = h\nu - \phi$... If a reverse potential is applied, the photocurrent will reach a value equal to zero when the reverse potential is equal to the stopping potential V_o , such that $eV_o = K_{\max}$, and none of the photoelectrons will have enough kinetic energy to reach the anode. Thus $V_o = K_{\max}/e = (h/e)\nu - \phi/e$. The slope of a plot of stopping potential V_o versus frequency ν of the photons should be (h/e) . (University of Notre Dame, 2009, p. 1)

Criterion 2: Lack of acceptance of Einstein’s quantum hypothesis in the scientific community

Most manuals emphasize the importance of Einstein’s quantum hypothesis (as compared to wave theory) and recognize that his explanation of the photoelectric effect would have “huge ramifications for all branches of physics” and that “[i]t would be hard to overstate the importance of this experiment to our entire culture’s world view” (Duke University, 2007, p. 1). Still, these manuals ignore that Einstein’s hypothesis was not accepted by the scientific community (including Planck) for many years and that it seemed to refute the highly accepted classical wave theory of light. One manual asked students to “Defend whether this experiment supports a wave or a quantum model of light based on your lab results” (Davidson College, 2003, p. 3). A similar exercise, based on lab results, was suggested by manuals 1, 11, 17, 18, 19, 21, 26, and 34 (see Table 1). At this stage, it is reasonable to suggest that the manuals can easily go a step further and refer to the resistance in the scientific community to accept Einstein’s hypothesis (despite the availability of experimental evidence), as it seemed to refute the well-established wave theory, yet, all manuals were classified as No Mention (N). In contrast, in our previous study (Niaz *et al.*, 2010) based on introductory, university-physics textbooks, 84% were classified as N, 11% as Mention (M), and 2% as Satisfactory (S).

Criterion 3: Millikan’s experimental determination of the Einstein photoelectric equation and Planck’s constant, h

One of the manuals described the relationship between Einstein’s predictions and the photoelectric effect in terms similar to aspect (c) of Criterion 3:

Einstein’s model thus predicts two things: that the voltage required to stop the photoelectric effect from occurring should be independent of the intensity of the light, and that we should obtain a linear relation between the stopping voltage, V_s , and the frequency, ν , of the light with which we illuminate the photocathode. (Mount Holyoke College, 2004, p. 2)

Even so, the presentation did not make a connection with Millikan’s experimental measurements.

It was expected that as this criterion dealt with Millikan’s experimental verification of Einstein’s quantum hypotheses most manuals would fare well. Only 8% of the manuals, however, were classified as Mention (M) and 92% as No Mention (N). One manual that was classified as M noted that “[a] final confirmation of Einstein’s theory came in 1915 when Robert Millikan demonstrated the linear relationship between K_{\max} and ν given by equation (2)” (University of Guelph, 2009, p. 3), and another stated that “Robert Millikan, co-founder of the California Institute of Technology ... [and] Nobel Prize Winner, performed the careful experimental verification of Einstein’s predictions” (Tarleton State University, 2001, p. 1). Only 7 manuals made a simple mention of Millikan’s experimental determination of Planck’s constant h , and only two referred to Millikan’s original article (Millikan, 1916). These results are compared to 69% No Mention in our textbook study.

Criterion 4: Millikan's presuppositions about the nature of light

All manuals were classified as No Mention (N) on Criterion 4. A central issue underlying the photoelectric effect is the role played by two competing theoretical frameworks, namely, the classical wave theory of light and Einstein's quantum hypothesis. Interestingly, various manuals (1, 6, 11, 17, 18, 19, 21, 26, 34, see Table 1) asked students to analyze their results in the light of the two theoretical frameworks—the wave and quantum model. One way to deepen students' understanding would be to explain that although Millikan provided the first reliable experimental evidence, he still rejected Einstein's quantum hypothesis due to his presuppositions. Even introductory, university-physics textbooks, generally, ignore this aspect of the photoelectric effect. In our previous study (Niaz *et al.*, 2010), 95% of the textbooks were classified as N, and only 3% as Satisfactory (S). This clearly shows the need to teach science as practiced by scientists (Niaz *et al.*, 2010).

6. SUMMARY AND RECOMMENDATIONS

While the results for establishing a historical perspective were, generally, disappointing, a few laboratory manuals presented an overall historical perspective that can be particularly helpful for students to understand the underlying issues. Manual 3, for example, provides a good exposition of Einstein's photon explanation of the photoelectric effect and its relation to electromagnetism:

Early attempts to describe the photoelectric effect used classical electromagnetism. These studies concluded that the stopping voltage, or potential needed to keep the highest energy electrons from reaching the electrode, should depend only on the intensity of the light but not on the frequency ... But it turns out that experimental evidence contradicts these predictions! Albert Einstein was the first (in 1905) to analyze the photo-effect problem based on a concept of light as quantized energy packages. The idea earned him his Physics Nobel-Prize in 1921. The idea, though simple, was revolutionary at the time. Einstein hypothesized that light consists of little discreet energy packages, or quanta, which behave like particles called photons. An individual photon cannot be divided, but it can be totally absorbed under appropriate circumstances. The size of the photon energy quantum is just determined by the frequency f of the electromagnetic light, as $E_{\text{photon}}=hf$... Does this mean that the all the classical electromagnetism you learned so far this semester is wrong? No! Electromagnetism is still a good theory that makes quantitative and correct predictions about the real world, so long as you deal with many photons and many atoms (i.e. in the macroscopic world). Only when it comes to the behavior of a single or few atoms, photons and/or electrons does one need to use Quantum Mechanics. (Columbia University, 2009, p. 2)

We believe that the approach in this example can be extended into laboratory instructions through some appropriately placed explanations, reflective of the four criteria mentioned. Historical details should not only be found in the side-bars of the page but should be placed strategically to enable a better understanding of scientific progress, theory development, and the nature of science. Several issues that may be addressed in laboratory instructions include that (a) Einstein's quantum hypothesis constituted a rival to Lenard's trigger hypothesis; (b) that Einstein's hypothesis was not accepted by the scientific community for many years, even

by Planck, the ‘originator’ of the quantum hypothesis; (c) even though Millikan presented experimental evidence to support Einstein’s photoelectric equation, he still rejected Einstein’s quantum hypothesis; (d) scientific theories are underdetermined by experimental evidence, that is, no amount of experimental evidence can provide conclusive proof for a theory (which can be presented by acknowledging Millikan’s experimental determination and, at the same time, pointing out that this was not considered as sufficient evidence for Einstein’s theory); and (e) scientists, customarily, have theoretical beliefs or presuppositions before doing an experiment and that they resist any change in those epistemological beliefs.

For further reading and discussion on using a historical perspective in teaching science, we suggest that the reader may consult Klassen (2009), who has developed a classroom teaching strategy to introduce the historical aspects of the photoelectric effect as an unfolding story, and Metz, Klassen, McMillan, Clough, & Olson (2007) for a more general approach to using narratives in science instruction.

ACKNOWLEDGEMENTS

Research reported here was made possible by a Natural Sciences and Engineering Research Council (Canada), NSERC (CRYSTAL Project) grant at the University of Manitoba and funding from the Maurice Price Foundation. Niaz is grateful to colleagues and friends at the University of Manitoba, University of Winnipeg, NSERC, and the Maurice Price Foundation for financial support while working as a Research Scholar in Winnipeg, May – June, 2007.

1 APPENDIX

List of photoelectric lab instructions analyzed in this study (n=38)*

- Austin Peay State University, 2007,
 <http://www.apsu.edu/schultzk/modern/3701%20lab%20manual/03%20Photoelectric%20Effect/photoelectric_effect.pdf>.
- Cabrillo College, 2007, <http://www.cabrillo.edu/~cfigueroa/4C/4Clabs/4Clab9_photoelectric-07.pdf>.
- Columbia University, 2009, <http://www.columbia.edu/cu/physics/pdf-files/Lab_2-08.pdf>.
- Dalhousie University, 2009, <<http://fizz.phys.dal.ca/~ihill/Phyc2150/Lab%205%20-%20Photoelectric%20Effect.pdf>>.
- Dartmouth University, 2003, <<http://www.dartmouth.edu/~physics/labs/p17/lab2.pdf>>.
- Davidson College, 2003, <<http://www.phy.davidson.edu/ModernPhysicsLabs/hovere.html>>.
- Duke University, 2007, <<http://www.phy.duke.edu/courses/143/labs/photoelectric.pdf>>.
- Florida International University, 2007,
 <<http://www.fiu.edu/~kramerl/Teaching/3106F06/LabManual/12-PhotoElectric.doc>>.
- Houghton College, 2008,
 <<http://www.houghton.edu/academics/programs/physics/Class%20Web%20Pages/phys275/Labs/photoelectric.pdf>>.

- Iowa University, 2007,
 <http://www.physics.uiowa.edu/~rvogel/int_lab_2007_1/pdfs/A2_photoelectric_effect.pdf>.
- Massachusetts Institute of Technology, 2009, <<http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Physics/8-13-14Fall-2007-Spring-2008/C025B4F5-9BBF-4FE4-8BCB-62AA20A4187D/0/jlexp005.pdf>>.
- Miami University, 2001, <<http://www.cas.muohio.edu/~marcumsd/p293/lab1/lab1.htm>>.
- Mount Holyoke College, 2004,
 <<http://www.mtholyoke.edu/acad/intdept/i42/Photoeleclab04.PDF>>.
- National University of Singapore, 2010,
 <<http://www.physics.nus.edu.sg/~L1000/AY0809/PhotoelectricEffect1.pdf>>.
- New York University, 2007, <http://physics.nyu.edu/~physlab/Modern_1/Photoelectric.pdf>.
- Penn State University, 2009,
 <<https://class.phys.psu.edu/214labs/PhotoelectricEffect/PhotoelectricEffect.doc>>.
- Princeton University, 2009,
 <<http://www.princeton.edu/~romalis/PHYS312/Photoelectric.pdf>>.
- Rowan University, 2009,
 <<http://www.rowan.edu/colleges/las/departments/physics/current/ModernLabs/PlancksConstantPhotoeffect.pdf>>.
- Ryerson, 2008,
 <http://www.ryerson.ca/physics/current/lab_information/experiments/PCS300/LabTut5F08The%20Photoelectric%20Effect.pdf>.
- San Francisco State University, 2000,
 <http://www.physics.sfsu.edu/~rrogers/Phys%20321/4_PHOTO.htm>.
- School of Physics at Georgia Tech, 2009,
 <<http://www.physics.gatech.edu/advancedlab/labs/photoelectric/>>.
- St. Lawrence University, 2009,
 <<http://it.stlawu.edu/~koon/classes/221.222/221L/PhotoEln.html>>.
- St. Lawrence University, 2009,
 <http://it.stlawu.edu/~physics/labs/152_lab/photoelectric_effect.pdf>.
- Stony Brook University, 1999,
 <http://felix.physics.sunysb.edu/~allen/252/PHY251_photoeffect.html>.
- Stony Brook University, 2007,
 <http://xray1.physics.sunysb.edu/~jacobsen/phy251s2007/lab4_photoelectric_effect.pdf>.
- SUNY Potsdam, 2000, <<http://www2.potsdam.edu/islam/Phys306Photoelectric.htm>>.
- Tarleton State University, 2001,
 <<http://www.math.tarleton.edu/Faculty/Marble/Quantum%20Class/Lab/Photoelectric%20Effect%20Lab.doc>>.
- University of California San Diego, 2007, <<http://www-physics.ucsd.edu/was-sdphul/labs/2dl/exp3/>>.
- University of California San Diego, 2009, <<http://www-physics.ucsd.edu/students/courses/spring2009/managed/physics2dl/documents/2DLSpring2009notes3.pdf>>.

- University of Guelph, 2009,
 <<http://www.physics.uoguelph.ca/~omeara/phys1010/expt5.pdf>>.
- University of Michigan, 2009, <http://instructor.physics.lsa.umich.edu/adv-labs/Photoelectric_Effect/photoelectric_effect_w06.pdf>.
- University of Notre Dame, 2009,
 <<http://www.nd.edu/~hgberry/21330jan09/Photoelectric%20Effect.pdf>>.
- University of Queensland, 2008,
 <<http://www.physics.uq.edu.au/people/mcintyre/php/laboratories/index.php?e=44>>.
- University of Redlands, 2009,
 <<http://bulldog2.redlands.edu/facultyfolder/deweerd/physics233/P233-Lab5.pdf>>.
- University of Regina, 2009,
 <<http://hyperion.cc.uregina.ca/~szymanss/uglabs/p242/Experiments/EXPT2.pdf>>.
- University of Wisconsin-Madison, 2007,
 <[http://uw.physics.wisc.edu/~rzchowski/phy208/LabQuestionSheets/Lab8\(LC-4\)PhotoElec.pdf](http://uw.physics.wisc.edu/~rzchowski/phy208/LabQuestionSheets/Lab8(LC-4)PhotoElec.pdf)>.
- University of Wisconsin-Madison, 2009, <<http://www.physics.wisc.edu/undergrads/int-adv-courses/photoeffect.pdf>>.
- Uppsala University, 2006, <http://www.anst.uu.se/johfa456/QM_lab/lab_1.pdf>.
- * The year appearing after the name of the university is the most recent year that the instructions had been used at the time that they were accessed.

REFERENCES

- ASIKAINEN, Mervi A.; HIRVONEN, Pekka E. A study of pre- and inservice physics teachers' understanding of photoelectric phenomenon as part of the development of a research-based quantum physics course. *Am. J. Phys.* **77** (7): 658–666, 2009.
- BACCIAGALUPPI, Guido; VALENTINI, Antony. *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- COLUMBIA UNIVERSITY. *The Photo-Electric Effect*. Available in: <http://www.columbia.edu/cu/physics/pdf-files/Lab_2-08.pdf>. Access 8th August 2010.
- DALHOUSIE UNIVERSITY. *The Photoelectric Effect*. Available in: <<http://fizz.phys.dal.ca/~ihill/Phyc2150/Lab%205%20-%20Photoelectric%20Effect.pdf>>. Access 8th August 2010.
- DAVIDSON COLLEGE. *The Photoelectric Effect*. Available in: <<http://www.phy.davidson.edu/ModernPhysicsLabs/hovere.html>>. Access 8th August 2010.
- DAVIS, S. P. Photoelectric Effect Experiment. *American Journal of Physics* **29**(10): 706-707, 1961.
- DE LEONE, Charles J.; OBEREM, Graham E. Toward Understanding Student Conceptions of the Photoelectric Effect: 85-88., in: MARX, J.; FRANKLIN, S.; CUMMINGS, K. (eds.). *2003 Physics Education Research Conference Proceedings*. Melville: AIP, 2004.
- DUKE UNIVERSITY. *The Photoelectric Effect and a Measurement of Planck's Constant*. Available in: <<http://www.phy.duke.edu/courses/143/labs/photoelectric.pdf>, 2007>. Access 8th

August 2010.

- EINSTEIN, Albert. Über einen Erzeugung und Verwandlung des lichtet betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* **322** (6): 132-148, 1905.
- HANSON, R. J.; CLOTFELTER, B. E. Evaluation of Commercial Apparatus for Measuring h/e . *American Journal of Physics* **34**(1): 75-78, 1966.
- JAMMER, Max. *The conceptual development of quantum mechanics*. New York: McGraw-Hill, 1966.
- KLASSEN, Stephen. The Photoelectric Effect: Rehabilitating the Story for the Physics Classroom. *Science & Education* **20**: 719-731. 2011.
- MCKAGAN, Sam B.; HANDLEY, Ward; PERKINS, Katherine K.; WIEMAN, Carl E. A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. *American Journal of Physics* **77** (1): 87-94, 2009.
- METZ, Don; KLASSEN, Stephen; MCMILLAN, Barbara; CLOUGH, M.; OLSON, J. Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. *Science & Education* **16** (3-5): 313-334, 2007.
- MILLIKAN, Robert Andrews. Einstein's photoelectric equation and contact electromotive force. *Physical Review* **7** (1): 18-32, 1916.
- MOUNT HOLYOKE COLLEGE. *Photoelectric Effect*. Available in: <<http://www.mtholyoke.edu/acad/intdept/i42/Photoeleclab04.PDF>>. Access 8th August 2010.
- NIAZ, Mansoor; KLASSEN, Stephen; MCMILLAN, Barbara; METZ, Don. A historical reconstruction of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Science & Education* **94**: 903-931, 2010.
- O'LEARY, A. J. Two Elementary Experiments to Demonstrate the Photoelectric Law and Measure the Planck Constant. *American Journal of Physics* **14** (4): 245-248, 1946.
- STEINBERG, Richard N.; OBEREM, Graham E.; MCDERMOTT, Lilian C. Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. *American Journal of Physics* **64** (11): 1370-1379, 1996.
- TARLETON STATE UNIVERSITY. Photoelectric Effect Lab. Available in: <<http://www.math.tarleton.edu/Faculty/Marble/Quantum%20Class/Lab/Photoelectric%20Effect%20Lab.doc>>. Access 8th August 2010.
- UNIVERSITY OF GUELPH. *The Photoelectric Effect*. Available in: <<http://www.physics.uoguelph.ca/~omeara/phys1010/expt5.pdf>>. Access 8th August 2010.
- UNIVERSITY OF NOTRE DAME. *The Photoelectric Effect*. Available in: <<http://www.nd.edu/~hgberry/21330jan09/Photoelectric%20Effect.pdf>>. Access 8th August 2010.
- WRIGHT, W. R. The Photoelectric Determination of h as an Undergraduate Experiment. *American Physics Teach.* **5** (2): 65-67, 1937.

II. TÓPICOS DE FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA

UM DIÁLOGO ENTRE A SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA E A EDUCAÇÃO MATEMÁTICA: A SIMETRIA E QUESTÃO DOS SIGNIFICADOS NA MATEMÁTICA ESCOLAR

Denise Silva Vilela*

Thales Haddad Novaes de Andrade**

Resumo: *A educação matemática manteve, desde seu surgimento por volta dos anos 1920, mais frequentemente um diálogo com as áreas da matemática e a psicologia, que exerceram uma forte influência neste campo de pesquisa. O objetivo do presente estudo é ampliar as interlocuções e estabelecer um diálogo entre a educação matemática e a sociologia da ciência, especialmente com o programa forte de David Bloor no que diz respeito a questão da simetria. Esse autor foi responsável por uma profunda revisão dos parâmetros dos estudos sobre ciência, ao afirmar que todo conhecimento científico, seja das ciências formais ou empíricas, seja das ciências humanas ou das exatas, deve ser objeto de investigação sociológica. O estabelecimento do princípio de simetria entre os conhecimentos verdadeiros e falsos representou uma nova perspectiva em se compreender a atividade científica, de modo que até mesmo o conhecimento tido como correto, tal como o matemático que é obtido pelo processo dedutivo, pode ser analisado em suas condições sociais questionando seus significados coletivos. O presente trabalho pretende tomar este princípio como grade analítica para discutir dificuldades que os alunos encontram na matemática escolar, relacionadas à falta de significado dos conceitos. A idéia é avaliar a capacidade explicativa e a pertinência dos critérios do programa forte para discutir questões da educação matemática. A relação entre estas distintas áreas se justifica porque o realismo matemático é foco da discussão de Bloor: há predominância de uma concepção de que a matemática constitui uma esfera separada, privilegiada e relativamente autônoma em relação às interferências externas, sejam elas sociais, políticas ou econômicas. Mostraremos que o realismo também pode ser identificado na educação matemática via o que Bourdieu denominou a personificação dos coletivos. As dificuldades da auto-reflexão decorrentes da não simetria na matemática não seriam identificáveis na educação matemática? A proposta é contribuir tanto para compreensão do programa forte como também aprofundar e ampliar as reflexões a respeito das dificuldades educacionais da matemática por meio de temas típicos da sociologia, tais como as relações de poder e as diferenças culturais.*

Palavras chave: *programa forte de sociologia da ciência; personificação dos coletivos, educação matemática; realismo matemático.*

A DIALOGUE BETWEEN THE SOCIOLOGY OF SCIENCE AND MATHEMATICS EDUCATION: THE ISSUE OF SYMMETRY AND MEANINGS IN SCHOOL MATHEMATICS

Abstract: *Mathematics education, since its upsurge around the 1920's, had a frequent dialogue with the fields of mathematics and psychology, which strongly influenced this area. This study aims to broaden these debates and establish a dialogue evolving sociology of science and mathematics education, especially with Bloor's strong program and the principle of symmetry. This author made a strong review for the parameters of science studies, as long as he pointed that any scientific knowledge, formal or empirical sciences, human or hard sciences, should become an object for sociological research. Using the principle of symmetry for true or false knowledge represented a new perspective for understanding scientific activities, in a way that even a correct knowledge, like a mathematics axiom obtained through deduction, can be analyzed in its social conditions and collective meanings. This study takes this principle for analyzing difficulties found by students with school mathematics, related to a lack of concepts meanings. The point is to evaluate whether the strong program contributions are relevant for discussing mathematics education. To study the relations of these different fields is justified once mathematics realism became a target for Bloor's discussion: there is a dominant conception that mathematics conform a separate, special and autonomous sphere in relation to external interference, might be social, political or economic ones. We will show that realism can be understood in mathematics education just as Bourdieu called the personification of the collective. The difficulties of self-reflection due to the non symmetry in mathematics would not be identifiable in mathematics education? The aim here is to contribute both for studying the strong program and also for deepening and broadening reflections related to teaching difficulties using sociological issues, such as power relations and cultural differences.*

Key-words: *Strong Program of the Sociology of Science; personification of the collective; mathematics education; mathematical realism.*

1. INTRODUÇÃO

A educação matemática manteve, desde seu surgimento por volta dos anos 1920, mais frequentemente um diálogo com as áreas da matemática e a psicologia, que tiveram uma forte influência na constituição deste campo de pesquisa. O objetivo do presente estudo é ampliar as interlocuções e estabelecer um diálogo entre a educação matemática e a sociologia da ciência, particularmente com o programa forte proposto por David Bloor na década de 70.

A relação entre estas áreas se justifica também porque o realismo matemático, ou a autonomia do conhecimento, é foco da discussão do programa forte, enquanto na matemática e, conseqüentemente, na educação matemática há predominância de uma concepção de que a matemática constitui uma esfera separada, privilegiada e relativamente

autônoma em relação às interferências externas, sejam elas sociais, políticas ou econômicas.

A proposta é contribuir tanto para compreensão do programa forte como também avaliar a potencialidade de aprofundar e ampliar as reflexões a respeito das dificuldades educacionais da matemática por meio de temas típicos da sociologia, tais como as relações de poder e as diferenças culturais.

Para estabelecer o diálogo proposto, partiremos de um breve panorama da sociologia da ciência a partir dos anos 20 a fim de situar o tratamento social da matemática proposto pelo sociólogo Bloor. É preciso salientar que ele mantém uma posição extrema, porém importante como contraponto da visão que a antecede na sociologia da ciência e a que predomina na educação matemática. Ainda que a argumentação de Bloor não reflita diretamente a posição assumida neste estudo e na pesquisa na qual este texto se baseia (Vilela, 2009), consideramos importante nos dar conta da denúncia à ciência que esta sociologia realiza: solo de uma inumerável quantidade de instituições que buscam privilégios e poder, e que tem tido êxito em estabelecer sua hegemonia nos últimos séculos (Shinn, 1999, p. 19). Tal denúncia, ainda que polêmica e controversa se fixarmos o olhar no campo da matemática enquanto disciplina acadêmica, parece generosa e elucidativa se o foco são os problemas na matemática enquanto disciplina escolar.

Bloor (1991) defende a utilização de alguns princípios fundamentais para se focar a prática científica. Dois deles são especialmente importantes: o princípio de causalidade e de simetria. De acordo com o princípio de causalidade, as motivações presentes na atividade científica não são explicadas unicamente por fatores cognitivos, mas também por interesses sociais, o que ele chama de crenças. Inclusive porque se escolhe pesquisar determinado assunto seria algo que remete tanto a processos científicos como determinações coletivas.

O famoso princípio de simetria proposto por Bloor defende que tanto a verdade como o erro na ciência podem ser compreendidos socialmente. Não se pode deixar que as teorias consideradas verdadeiras ou certas sejam autoevidentes, mas sua defesa e aplicação se justificam por vontades negociadas coletivamente. Voltaremos a essas questões adiante.

No que diz respeito à educação matemática destacamos que no processo de constituição deste campo, houve na década de 50-60 o resgate de intenções estabelecidas no Movimento da Matemática Moderna e a incorporação de estudos sobre o modo como as crianças aprendem, particularmente a apropriação das teorias de Piaget por pedagogos e psicólogos com foco no ensino de números e operações para crianças. Foi amplamente difundida a idéia de que as etapas do desenvolvimento da estrutura mental seguem uma orientação lógica, pré-estabelecida e definida para todos os indivíduos.

A reformulação e modernização do currículo escolar, proposto pelo Movimento Matemática Moderna dá grande ênfase a estrutura lógica e a incorporação da matemática formal nos currículos escolares (Schubring, 1999). Estas iniciativas estimularam estudos na área em decorrência de dificuldade na matemática escolar.

Inspirados nos questionamentos de Bloor a respeito de como as crenças se consolidam, entendemos que o seu pensamento pode nos auxiliar no processo de desnaturalização da lógica. Neste sentido, a intenção é justificar a interlocução da sociologia da ciência com a educação matemática apontando as limitações de vertentes realistas da matemática para a educação e o caráter negociado de formulação de crenças no interior desse campo de conhecimento.

2. UM PANORAMA DA SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA: SITUANDO O PROGRAMA FORTE

O surgimento da sociologia da ciência pode ser situado nos anos 1930 e 1940, especificamente com a sociologia da ciência de Robert Merton que se tornou conhecida pelo estudo da revolução científica no século XVII, estabelecendo causalidade entre os acontecimentos históricos e a institucionalização da ciência moderna (Merton, 1968).

A ciência foi considerada, dentro da tradição mertoniana, como uma esfera intelectual e institucionalmente diferenciada, portadora de características sociais e cognitivas próprias. Esta distinção da ciência em relação a outras esferas fez com que os estudos sociológicos se concentrassem no contexto social, em elementos exógenos à ciência, uma vez que a noção implícita de ciência subjacente a esses estudos consistia em vê-la como um sistema auto-sustentado por suas verdades.

A noção implícita da visão clássica é que, uma vez estabelecida, a ciência constitui um sistema auto-sustentado de pensamento e de organização, capaz de resistir às influências externas que se opõem ao princípio de independência, rigorosidade e criticidade (da racionalidade pura) auto-proclamado pela ciência, assim como a seus procedimentos preferidos de avaliação da validade das propostas formuladas pelos cientistas. (SHINN, 1999, p.14)

A perspectiva mertoniana se direciona mais propriamente a comunidade científica como um grupo dotado de regras e racionalidade autônoma, não redutível aos princípios externos. Após Merton, os estudos sociais da ciência se diversificaram em direções tais como a discussão a respeito do nascimento de novas disciplinas, da produtividade científica, da profissionalização da ciência, etc., mas permanecia a idéia da separação entre a ciência, por um lado, e a política e economia de outro. O crescimento e ampliação da ciência eram considerados atribuídos especialmente ligados às suas necessidades internas (Shinn, 1999, p. 15).

Um marco do rompimento com esta concepção de ciência per se, independente, privilegiada, desinteressada e autônoma pode ser identificado na obra de Kuhn, do início da década de setenta. O livro *A estrutura das revoluções científicas* teve uma influência decisiva na sociologia da ciência, pois sugere de um lado, uma relação determinista entre a filosofia social dominante e a percepção de cada época histórica e, por outro, os modos específicos pelos quais os cientistas observam e analisam a ciência. A partir disso, muitos trabalhos de sociologia da ciência seriam marcados por uma compreensão contingente, relativista e local das ciências, ainda que os estudos na tradição clássica prosseguissem.

A sociologia da ciência sofreu um abalo ainda mais forte a partir das contribuições da chamada Escola de Edimburgo. David Bloor trouxe um novo olhar sobre os estudos acerca da atividade científica, fundando o que seria conhecido como o programa forte da sociologia da ciência. Uma de suas principais motivações foi contestar o caráter unicamente contextual das análises mertonianas. Ele não aceita que o conteúdo científico não seja analisado pelos sociólogos. Para Bloor, a perspectiva mertoniana inculcou uma resistência nos cientistas sociais em discutirem os aspectos sociais intrínsecos à própria atividade científica, como se isso fosse um terreno inviolável.

O objetivo de Bloor em seu livro *Knowledge and social imagery*, publicado originalmente

em 1974, é apresentar os princípios e fazer uso do “programa forte em sociologia do conhecimento”, inédito em relação à sociologia do conhecimento que a antecedeu no que diz respeito a colocar a própria ciência – e a matemática exemplarmente – como objeto de pesquisa sociológica.

O programa forte em sociologia do conhecimento de Bloor pressupõe que a ciência não constitui uma esfera autônoma de operações intelectuais, isto é, a ciência não é diferente de outras áreas do conhecimento, na medida em que, em tal programa,

Todo conhecimento, ainda que se encontre nas ciências empíricas ou mesmo na matemática, deve ser tratado, de modo exaustivo, como material para investigação. (...) Não existem limitações que repousem sobre o caráter absoluto ou transcendente do próprio conhecimento, ou sobre a natureza especial da racionalidade, da validade, da verdade ou da objetividade. (Bloor, 1991, p. 03)

Ele se esforçou em mostrar que o conhecimento lógico-matemático, longe de se constituir como verdadeiro e universal, traz as marcas de seu contexto histórico e social. Consideramos que o modo de Bloor abordar a natureza social do conhecimento científico, o matemático e o lógico em especial, podem contribuir no campo da educação através de formulações que explicam e esclareçam a dimensão cultural dessas crenças.

Bloor (1991) atribui a Durkheim em *Formas elementares da vida religiosa* (1912) as referências iniciais sobre as possibilidades de penetrar, pela sociologia, nos estudos científicos. Nesta obra haveria uma sugestão de comparar a matemática com a religião. Segundo Durkheim, a “construção” de uma realidade separada e autônoma pode criar a sensação de que os objetos matemáticos não dependem do matemático, isto é, não apenas o matemático se acha autônomo, mas a própria matemática se autonomiza. Assim como a religião, a matemática adquiriria o aspecto de algo sagrado, e determinado por um conjunto de símbolos e objetos sacralizados pela ordem científica vigente.

Porém, segundo Bloor (1991) o escrutínio do conhecimento matemático não teria sido levado a cabo pelos sociólogos. Os saberes controlados pela matemática tradicional permaneceram intocáveis por sociólogos que o antecederam, os quais acreditavam, em consonância com os próprios cientistas, que tais saberes escapavam de qualquer determinação social. Para ele, o escrutínio do conhecimento matemático não teria sido levado a cabo pelos sociólogos. Tampouco os matemáticos ou educadores, responsáveis pela formação de professores, chegaram a avaliar a capacidade explicativa e a pertinência dos critérios do programa forte para discutir questões da educação matemática. Este é, portanto, o foco do presente estudo: buscar entender a naturalização da lógica como um caso de não simetria, conforme definida pelo programa forte.

3. EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E A CONSTRUÇÃO DE CRENÇAS

O programa forte de Bloor penetra em setores da matemática e da lógica socialmente “protegidos” por nossa tradição racional. Assim, pretendemos estabelecer um diálogo entre temas típicos da matemática, como área do conhecimento e, sobretudo, como disciplina escolar, e a visão da sociologia do conhecimento. Nossa hipótese é que alguns questionamentos sugeridos pelo programa forte poderiam contribuir para elucidar problemas na matemática escolar, ao serem abordados, por exemplo, na formação de professores e

reconhecidos em elaborações curriculares.

Apresentamos inicialmente como a noção de objetividade, marca característica desta ciência, é compreendida como “processo social”. Esta noção adquire com Restivo (1990) uma concepção inversa daquela que usualmente se manifesta. Tradicionalmente, em oposição à subjetividade, um conhecimento é objetivo quando é o mesmo para todos. A definição sociológica apresentada por Restivo de objetividade é inversa, sendo que ele chama de objetivo aquele conhecimento suficientemente difundido entre todos:

Por um lado, quanto melhor definida esteja a objetividade e mais fortemente acoplada ao indivíduo, mais o sujeito irá refletir e representar as idéias e interesses da coletividade. A objetividade, contudo, está fundamentada numa pluralidade de perspectivas e interesses. Então, para alcançar algum grau de objetividade, o indivíduo deve ser socializado de tal modo que nenhuma coletividade particular esteja especialmente bem definida (literal e simbolicamente) na sua experiência. (Restivo, 1990, pp. 123-124)

Neste sentido, a objetividade da matemática se objetivaria, conforme os alunos sejam socializados e familiarizados com as regras, linguagem e temas da matemática. O caráter necessário do conhecimento, assim como a noção de objetividade, é também para Bloor, socialmente constituído.

Tanto Restivo como Bloor propõe olharmos não só para fatores externos da matemática e da lógica. Mais do que isto, a categoria interno/externo favorece a ideia de autonomia do conhecimento, já que as causas sociais seriam, se assumida a separação, exclusivas do meio social externo; enquanto que a linguagem simbólica e os procedimentos dedutivos, seriam internos. Mas estes autores acreditam que os meios intelectuais especializados e autônomos são fontes de causas sociais internas, pois é o próprio cientista que define o que é ciência, os procedimentos válidos, e introduz e divulga as notações.

Assim, sem esta separação interno/externo, Bloor sugere olhar para nossos conhecimentos da matemática e da lógica como crenças e, decorrente disso, para os processos de naturalização da verdade e dos valores da lógica. Particularmente ele sugere olhar para as causas e para a não simetria predominante nestas áreas do conhecimento. Neste item discutiremos a questão das causas, deixando a problemática da não simetria para o próximo.

A sociologia do conhecimento de Bloor nos leva a questionar as crenças e perguntar se nossa mente é lógica de fato, constituída “de um conjunto de conexões entre premissas e conclusões”. Porque não ver como cultural, diria Bloor, que os comportamentos racionais não sejam passíveis de questionamentos?

O ponto de partida é assumir que o conhecimento científico é uma crença e, a partir disto, identificar as condições que as ocasionam e a “distribuição da crença e dos vários fatores que a influenciam” (Bloor, 1991, p. 5). A pergunta fundamental de Bloor passa a ser então: como se constroem as crenças que dão sentido à prática científica?

No interior do campo sociológico, Bloor distingue o conhecimento científico de outras crenças, não por características internas da ciência em relação aos outros saberes, mas por razões sociais, isto é, devido à aprovação coletiva que o conhecimento científico recebe:

O sociólogo se ocupa do conhecimento, inclusive do conhecimento científico, como de um fenômeno natural, porque sua definição de conhecimento será bastante diferente tanto do homem comum como do filósofo. Em lugar de defini-lo como crença verdadeira, ou talvez

justificadamente verdadeira, para o sociólogo o conhecimento é qualquer coisa que as pessoas tomem como conhecimento. São as crenças que as pessoas sustentam confiantemente e mediante as quais vivem. Em particular, o sociólogo se ocupará das crenças que se dão por assentadas ou estão institucionalizadas, ou aquelas que certos grupos humanos dotaram de autoridade. Desde logo deve-se distinguir entre conhecimento e mera crença, o que se pode fazer reservando a palavra “conhecimento” para o que tem uma aprovação coletiva, considerando o individual e idiossincrático como mera crença. (Bloor, 1991, p. 5)

Considerar o conhecimento como crença dotada de autoridade remete a busca por condições que ocasionam as crenças, ou seja, à discussão do primeiro princípio do programa forte que ficou conhecido como princípio da causalidade. Diferentemente da noção de causa-efeito que a teoria mecanicista de Newton sugere, para Bloor, este princípio aponta para a necessidade de entender as origens das crenças: “sociologia do conhecimento [...] interessada nas condições que geram crenças” (Bloor, 1991, p. 7).

No caso deste estudo, a discussão do primeiro princípio do programa forte nos remete à constituição do campo da educação matemática que se deu no período permeado pela Guerra Fria entre as duas grandes potências que se consolidaram no pós-guerra:

Em nível internacional, a pesquisa em educação matemática daria um salto significativo com o Movimento Matemática Moderna, ocorrido nos anos de 1950 e de 1960. Esse movimento surgiu, de um lado, motivado pela “Guerra Fria” entre Rússia e Estados Unidos, e, de outro, como resposta à constatação, após a segunda Guerra Mundial, de uma considerável defasagem entre o progresso científico e tecnológico e o currículo escolar então vigente. (Fiorentini & Lorenzato, 2006, p. 6)

Segundo Garnica (2008, p. 177), o lançamento do primeiro satélite artificial do programa soviético Spunik, a partir de 1957, evidenciou, na disputa pela corrida espacial, uma vitória dos russos que provocou reações do governo americano tanto na direção de firmar alianças com países aliados, particularmente com países da América Latina, como teve forte impacto nos meios educacionais, através de iniciativas que promoveriam a ampliação de investimentos no ensino de matemática, como expoente da área tecnológica.

Foi neste contexto que o governo americano resgatou o projeto internacional Movimento Matemática Moderna, lançado inicialmente por Klein no fim do século XIX e que ficara adormecido no período das grandes guerras. Entre as propostas do Movimento Matemática Moderna estava a unificação do ensino secundário de matemática em diversos países e a orientação de seguir a forma sofisticada da matemática estruturada pelo grupo Bourbaki.

Os acordos dos EUA com os países aliados, na ocasião, envolveram também reformas educacionais, já que houve amplos investimentos em reformas do ensino. Dessas reformas resultou a ampliação quantitativa do programa de matemática nas escolas e também alterações qualitativas. No Brasil, particularmente, após o golpe militar, ocorreu uma ampla reforma em todos os níveis de ensino e sua ampliação na perspectiva de abranger uma parcela maior da sociedade. Podemos citar, por exemplo, a reforma no ensino promulgada pela LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação) de 1961, que estabeleceu o prolongamento da obrigatoriedade do ensino primário de quatro para oito anos, que seria gratuito e ministrado integralmente pela rede oficial de ensino (Tacon & Vilela, 2010).

A educação matemática como campo profissional e de pesquisa se consolida nesta ocasião de muitas mudanças na educação que envolveu inclusive a disciplina matemática.

Várias dificuldades (de alunos e professores) e iniciativas (de reorganização curricular, formação e reciclagem de pessoal, material didático) foram necessárias diante uma matemática escolar desligada de práticas, com características mais abstratas, genérica e estruturada diretamente a partir dos princípios da lógica clássica.

Isto nos remete a outra elucidação a ser destacada na compreensão de Bloor, a respeito do que se considera “universalização de resultados científicos”. Para ele isto seria um processo eficiente de distribuição da crença. Segundo Shinn (1999, pp. 19-20), a transferência de um resultado científico “fabricado” localmente, não seria para Bloor, ou para os seguidores de seu programa, resultado do descobrimento de uma verdade, mas expressa a capacidade dos praticantes de impor seu ponto de vista:

A transferência de um resultado científico “fabricado” localmente até um estado global não é uma consequência de sua capacidade para descrever o mundo físico com exatidão e para esquadriñar a natureza, mas sim a consequência, unicamente, da habilidade dos praticantes para impor seus pontos de vista a outros atores. Nesta sociologia, “universalidade” é a universalidade da dominação do produto na competência em um mercado capitalista global. (Shinn, 1999, p. 20)

A distribuição da crença e suas implicações não poderiam ser associadas à valorização e incentivo amplo desta nova forma de apresentar conteúdos matemáticos na escola, ou na promoção de reforma do ensino para a Matemática Moderna?

Trazendo a tona aspectos históricos e políticos do planejamento educacional, reconhecido como estratégico na ocasião, não estaríamos aqui atendendo a proposta de Bloor de passar da definição de “o conhecimento como crença verdadeira” para “aquilo que as pessoas consideram conhecimento”, “crenças que são assumidas como certas, institucionalizadas, investidas de autoridades por grupo de pessoas”? A pergunta é retórica se consideramos que estudos na área da história da educação matemática, como o mencionado acima, de fato “traçam conexões entre, de um lado, os desenvolvimentos econômico, técnico e industrial, e de outro, o conteúdo de teorias científicas.” (Bloor, 1991, p. 6). No caso, citaríamos o Sputnik, de um lado, e a matemática estruturalista ganhando espaço significativo na escola em detrimento a outras possibilidades de trabalho educativo como aquele que antecedeu este movimento.

4. EFEITOS SOCIAIS DA NATURALIZAÇÃO DA LÓGICA

A naturalização da lógica pode ser compreendida no encontro da educação matemática com as teorias psicogenéticas de Piaget. As apropriações por educadores das teorias de Piaget possibilitaram conformar os condicionantes normativos das práticas escolares aos axiomas da lógica formal e criar, a partir disto, critérios de julgamento das condições de cognição de estudantes, em que aspectos culturais não são suficientemente considerados. Os educadores se apropriaram dos estudos de Piaget, que por sua vez, declarou em vários momentos, o generoso financiamento que recebia da Fundação Rockefeller para realizar e divulgar suas pesquisas que buscavam estabelecer um quadro lógico de interpretações (Piaget, 1974, p. 7). E este quadro lógico estabelecido por Piaget favoreceu a constituição do campo da educação matemática e, mais recentemente, passou a ser questionados em estudos culturais da área.

Para Walkerdine (2004), por exemplo, teorias genéricas do desenvolvimento cognitivo,

que estipulam estágios em uma sequência fixa que leva do raciocínio pré-lógico ao raciocínio lógico matemático, funcionam muito bem em contextos específicos como aquele em que tais teorias se desenvolveram, qual seja, o de famílias europeias aristocráticas ou burguesas. Para esta autora, justamente aqueles que não são capazes de alcançar certo estágio de desenvolvimento cognitivo, como, por exemplo, crianças de classe trabalhadora, pobres, negros, índios, etc., nos levam a questionar esse quadro e a sugerir que as questões de valores de diferentes classes sociais, a influência da pobreza e riqueza no modo de compreensão de um problema matemático, o tipo de opressão e exploração a que as crianças são submetidas influiriam diretamente no aprendizado. Além disso, surgem questionamentos a respeito da reprodução social promovida pela escola que toma a cultura da classe dominante como referência, a qual valoriza a lógica e o conhecimento racional.

Por um lado, podemos entender a “naturalização da lógica” como a imposição de demandas específicas da sociedade, por outro, deve ser destacado que haveria aí um pressuposto de uma autonomia do conhecimento matemático. Este tema nos remete ao que foi discutido por Gottschalk (2008), em uma pesquisa de doutorado que analisa os Parâmetros Curriculares Nacionais e identifica neste documento um tipo de construtivismo que conduz a ideia de uma “racionalidade natural”, questionada pela autora a partir do referencial wittgensteiniano em que se coloca:

Do ponto de vista pedagógico, este pressuposto de uma autonomia ou de uma concepção referencial de matemática, pode estar na base de concepções construtivistas que supõe uma racionalidade natural do aluno que por si só construiria novos conhecimentos que se aproximaria paulatinamente de verdades preexistentes. (Gottschalk, 2008, pp. 83-88)

De fato, sabemos que uma das razões centrais para valorização da matemática é a possibilidade de desenvolver o raciocínio lógico, sobretudo nas atuais orientações que privilegiam a forma (lógica) e não os conteúdos:

Embora nestes Parâmetros a Lógica não se constitua como um assunto a ser tratado explicitamente, alguns de seus princípios podem e devem ser integrados aos conteúdos, desde os ciclos iniciais, uma vez que ela é inerente à Matemática. No contexto da construção do conhecimento matemático é ela que permite a compreensão dos processos; é ela que possibilita o desenvolvimento da capacidade de argumentar e de fazer conjecturas e generalizações, bem como o da capacidade de justificar por meio de uma demonstração formal. (Brasil, 1998, p. 49)

Ao valorizar a crença em uma lógica formal, a escola cai na concepção teleológica de causa, isto é, numa lógica de controlar os meios, os comportamentos visando uma finalidade determinada. Isso pode ser perverso porque não dá o direito ao outro de fazer de outro modo, muito menos de negar. A negação implicaria na loucura, na punição. No caso do ensino, impõe-se ações estratégicas visando habilidades específicas, baseadas em determinadas crenças hegemônicas, independente das diferenças pessoais e culturais.

O segundo princípio do programa forte afirma que a sociologia do conhecimento deverá ser imparcial com respeito a verdade e falsidade, racionalidade e irracionalidade, sucesso e fracasso e que os dois lados dessas dicotomias irão requerer explicação: “deverá ser imparcial com respeito à verdade e a falsidade, racionalidade e irracionalidade, sucesso e fracasso. Ambos os lados dessas dicotomias irão requerer explicação” (Bloor, 1991, p. 7).

A explicação requerida, conforme afirma o conhecido princípio de simetria, deverá ser do mesmo tipo para ambos os casos, isto é, deverá ser simétrica: “o mesmo tipo de causa deverão explicar, digamos crenças verdadeiras e falsas” (Bloor, 1991, p. 7).

O diálogo com a educação matemática fica mais profícuo quando trazemos o princípio da simetria para a cena. Os matemáticos, em sua maioria, aderem perfeitamente ao rótulo da “autonomia do conhecimento” tanto na matemática como na lógica. A matemática e a lógica seriam, “por natureza”, um conhecimento verdadeiro, racional e objetivo. Tal afirmação é facilmente defensável, afinal, são frequentes definições tal como “a matemática é conhecimento objetivo” e associações tal como, do lógico ao verdadeiro, deslocando a ideia de verdade de uma proposição à verdade social.

Assim, quando transpomos a matemática acadêmica para a escola, seguindo, por exemplo, a orientação do Movimento Matemática Moderna, a crença de conhecimento verdadeiro, peculiar ao universo acadêmico também é transposta para a escola. Mais que isso, se por um lado, a escola tem assegurada, por essa “transposição didática” (Chevallard, 1991), que o objeto de ensino é legitimado pela ciência, por outro, os saberes científicos se encontram legitimados pelo processo de despersonalização que culmina na escola. Ali este conhecimento ganha sua legitimidade ao ganhar papel principal no espaço institucional escolar, com isso, é bem sucedido o processo de divulgação da crença.

A sociologia da ciência traz, pela simetria, a possibilidade de olhar dificuldades com a matemática na escola por outro ângulo. O psicólogo ou o pedagogo, conforme evidencia o programa forte, é chamado para explicar os problemas dos alunos que não realizam o raciocínio correto. A própria lógica não explica os erros e dificuldades na matemática escolar, mas explica e justifica o raciocínio correto:

Obviamente quando alguém se enganasse em seus raciocínios, a própria lógica não seria a explicação. Um lapso ou um desvio podem ser devidos à interferência de uma enorme variedade de fatores. Talvez o raciocínio seja muito difícil para a inteligência limitada daquele que raciocina, talvez ele esteja desatento ou muito envolvido emocionalmente com o assunto em discussão. (...) “que o psicólogo diga porque estamos enganados, mas podemos dizer a nós mesmos e a ele por que não estamos enganados” . Essa abordagem pode ser sumarizada na alegação de que nada leva as pessoas a fazer as coisas corretas, mas algo perpetra ou causa o que dá errado. (Bloor, 1991, pp. 8-9)

Por ser a matemática considerada um domínio autônomo, este conhecimento não precisaria ser explicado, ele é o certo. Isto evidencia o aspecto valorativo e moral passível de ser identificado na forma de conduzir a matemática escolar. Isso seria para Bloor um exemplo de não simetria, uma vez que a matemática como conhecimento objetivo e verdadeiro prescindiria de qualquer questionamento social. O modelo bivalente da lógica clássica se presta bem ao papel moral que teria sido acoplado a ela na nossa cultura:

A estrutura geral dessas explicações destaca-se claramente. Todas elas dividem o comportamento ou a crença em dois tipos: certo e errado, verdadeiro e falso, racional ou irracional. Invocam em seguida causas sociológicas ou psicológicas para explicar o lado negativo da divisão. Tais causas explicam o erro, a limitação e o desvio. O lado positivo dessa divisão apreciativa é bem diferente. Aqui a lógica, a racionalidade e a verdade parecem ser suas próprias explicações. Nesse caso, não há a necessidade invocar causas psicológicas ou sociais. (Bloor, 1991, p.9)

Na escola, quando os estudantes fazem o que é proposto, seguem as regras, seu comportamento “correto” não é passível de questionamento, não há nada a ser discutido. Mas, a recíproca não é verdadeira, o aluno que não apresentar o comportamento previsto ou questionar uma resposta é um aluno problemático, precisa de psicólogo. Isto poderia ser identificado no programa forte como não simetria ou, digamos, de seguir regras de assimetria:

Enquanto alguém fosse razoável [racional], as próprias conexões poderiam oferecer a melhor explicação para as suas crenças. Como um trem sobre trilhos, os próprios trilhos determinam aonde ele vai. (...) Quando um trem sai dos trilhos, a causa do acidente pode muito bem ser averiguada. Mas não temos nem precisamos de comissões de inquérito sobre o por que os acidentes não ocorrem. (Bloor, 1991, p. 8)

Esta assimetria está naturalizada pela própria educação escolar. Por isso é intreressante esse processo de questionamento e desnaturalização. A assimetria naturalizada pode poupar de questionamentos o “processo interno da ciência” na medida em que avaliações prévias ou padrões de erros são previamente delimitados, indicando onde caberia explicação:

Uma vez que se admita que a explicação depende de avaliações prévias, os processos causais que se supõe ocorrer no mundo serão reflexos dos critérios desta avaliação. Os processos causais serão entalhados com base no padrão de erros identificados, pondo em relevo a forma da verdade e da racionalidade. A natureza receberá uma importância moral, endossando e incorporando a verdade e o correto. Aqueles que alimentam suas tendências de oferecer explicações assimétricas sempre terão a ocasião de para apresentar como natural aquilo que pressupõe. Essa é uma receita ideal para a desviar o próprio olhar da sociedade, de seus valores, de suas crenças, e fixá-las em tudo aquilo que diverge disto. (Bloor, 1991, p.13)

Desdobramentos pedagógicos recaem novamente sobre a concepção teleológica de causa, já que a causalidade consiste geralmente só no erro (Bloor, 1991, p. 13). A lógica, longe de ser algo natural e automaticamente reconhecível, está, na interpretação de Bloor, assentada em uma série de crenças prévias.

5. ALGUNS COMENTÁRIOS FINAIS

A sociologia da ciência de Bloor ajuda a levar mais a sério a afirmação pela qual a ciência deve ser vista como atividade social. O seu caráter social não reside somente no fato dela estar ligada a instituições e regras formalizadas. Bloor nos qualifica a enxergar elementos sociais da ciência em recônditos guarnecidos nas trincheiras do conhecimento disciplinar.

Mas é importante considerar aspectos específicos e característicos das ciências, que a distingam de outras atividades produtivas de conhecimento para que frases como ‘a matemática é uma produção social’ não pareçam vazias.

As práticas matemáticas não perfazem um conhecimento autônomo, mas um conjunto bem articulado de crenças produzidas por sujeitos estabelecidos na confluência do momento de sua produção e de acordo com projetos sociais e científicos determinados. Mas os riscos trazidos por essa abordagem são perceptíveis e sérios. O risco do relativismo implícito nesta abordagem levanta suspeitas quanto à credibilidade irrestrita do Programa na medida em que, de acordo com Bourdieu (2001), os parâmetros científicos têm limites intrínsecos ditados pelas regras dos grupos que os professam.

É preciso estar atento para não levar o raciocínio de Bloor ao extremo e desconsiderar a capacidade das ciências, e da matemática em particular, de construir conhecimentos compartilháveis e válidos. O fato de o conhecimento lógico possuir elementos sociais não o torna menos legítimo que os conhecimentos não-lógicos, mas específicos em sua definição própria.

A abordagem de Bloor ajuda a compreender a crença na pureza da ciência, da matemática em particular, que constituiria uma esfera separada, privilegiada e relativamente autônoma em relação às interferências externas, sejam elas sociais ou políticas. Destaca-se na presente discussão a abordagem da sociologia da ciência, especialmente a não simetria discutida no programa forte na área educacional como possibilidade de decodificar os valores e relações de poder a fim de compreender as relações históricas e sociais em que os problemas educacionais se constituem. De fato, se a matemática consiste de um conjunto de princípios, raciocínios e leis gerais e necessárias, e os educadores matemáticos podem ser instados a sistematizar e retraduzir essas crenças, os desdobramentos pedagógicos apresentados acima, tal como a natureza teleológica da causa, comprometem eticamente esta crença. Ao mesmo tempo, as dificuldades em matemática enquanto disciplina escolar encontram alento nas explicações tomadas de Bloor.

A conformação da educação matemática enquanto espaço de conhecimento voltado à produção e reprodução de crenças científicas é um assunto que se coloca na agenda de vários programas de pesquisa, um debate ainda pleno de possibilidades cognitivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLOOR, David. *Knowledge and social imagery*. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.
- BOURDIEU, Pierre. *Science de la science et relexivité*. Paris: Raisons D'agir, 2001.
- BRASIL, Ministério da Educação e do Desporto, Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais, Ensino Fundamental*. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- CHEVALLARD, Yves. *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique, 1991.
- DURKHEIM, Emile. *Les formes élémentaires de la vie religieuse*. Paris: Eggen, 1912.
- FIORENTINI, Dario & LORENZATO, Sergio. *Investigação em educação matemática: percursos teóricos e metodológicos*. Campinas: Autores Associados, 2006.
- GARNICA, Antonio Vicente. Resgatando oralidades para a história da Matemática e da educação matemática brasileiras: o Movimento Matemática Moderna. *Zetetiké* **16** (30): 173-225, 2008.
- GOTTSCHALK, Cristiane Maria. A construção e transmissão do conhecimento matemático sob uma perspectiva wittgensteiniana. *Cadernos Cedes* **28** (74): 75-96, 2008.
- MERTON, Robert King. *Social Theory and social structure*, New York: Free Press, 1968.
- PIAGET, Jean. *Epistemologia genética e pesquisa psicológica*. São Paulo: Livraria Freitas Barros, 1974.
- RESTIVO, Sal. The social roots of pure mathematics. Pp. 120-142, in: COZZENS, S. & GIERYN, T. (eds.). *Theories of science in society*. Indianapolis: Indiana University Press, 1990.
- SCHUBRING, Gert. O primeiro movimento internacional da reforma curricular em matemática e o papel da Alemanha. *Zetetiké* **7** (11): 29-50, 1999.
- SHINN, Terry. Prólogo. Pp. 11-28 in: KREIMER, P. *De probetas, computadoras y ratones: la construcción de una mirada sociológica sobre la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes, 1999.

- TACON, Ana Claudia & VILELA, Denise. A criação do curso de licenciatura em matemática da UFSCar e o contexto do regime militar: influências político-econômicas na formação de professores. In: X EPEM – ENCONTRO PAULISTA DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10,2010, São Carlos. São Carlos: UFSCAR, 2010. P. 1-12.
- VILELA, Denise. Práticas matemáticas: contribuições sócio-filosóficas para a educação matemática. *Zetetiké* **17** (31): 191-212, 2009.
- WALKERDINE, Valerie. Diferença, cognição e educação matemática. Pp. 109-123, in: Knijnik, G. *Etnomatemática, currículo e formação de professores*. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2004.

CRÍTICA À TENTATIVA DE DEFINIR O DETERMINISMO POR MEIO DO DEMÔNIO DE LAPLACE

Douglas Ricardo Slaughter Nyimi*
José Aquiles Baesso Grimoni**

Resumo: O determinismo é uma crença compartilhada por muitos cientistas e engenheiros. Grosso modo, o determinismo é a tese de que, em princípio, a previsão de qualquer fenômeno é sempre possível. Para tanto, bastaria conhecer as leis que regem a natureza, o estado exato do universo em um dado instante, e ter poder infinito de cálculo. Na prática, tal previsibilidade não é atingível, mas a concepção determinista considera que isto é apenas uma limitação circunstancial. Uma maneira de tratar a questão é seguir Laplace (1814) e considerar uma “inteligência” capaz de fazer tal previsão. Segundo Pessoa (2005), as características de tal “inteligência” (conhecida como “Demônio de Laplace”) seriam: 1. Onisciência instantânea; 2. Erudição científica nomológica; 3. Super-inteligência; 4. Não-distúrbio. Porém, assumindo essa caracterização, podem ser apontadas algumas deficiências do demônio, entre elas, a possibilidade de se realizar a computação necessária para prever o estado futuro do universo. Duas classes de objeções serão levantadas. A primeira objeção, relacionada à natureza das equações diferenciais usadas na física e, a segunda objeção, relacionada a questões de computabilidade. Este último ponto será dividido em três casos: (i) Incomputabilidade das condições iniciais, (ii) Incomputabilidade do problema e (iii) Questões de complexidade computacional.

Palavras-chave: determinismo, Laplace, previsibilidade, caos, computabilidade

A CRITICISM ON THE ATTEMPT TO DEFINE DETERMINISM THROUGH THE LAPLACE'S DEMON

Abstract: Determinism is a belief shared by many scientists and engineers. Determinism is the thesis which states that any phenomenon can always be predicted, at least in principle. To be able to do that, it is enough to have the knowledge of the laws of nature, the exact state of the universe in a given instant and an infinite calculation power. Practically, such predictability is unachievable, but the determinist concept considers this just a circumstantial limitation. A way to treat the issue is following Laplace (1814), considering an “intelligence” capable of such a

* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3 nº158, São Paulo, SP, e-mail: dougslaughter10@usp.br

** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3 nº158, São Paulo, SP, e-mail: aquiles@pea.usp.br

prediction. According to Pessoa (2005) the characteristics of this “intelligence” (called “Laplace’s Demon”) would be: 1. Instantaneous omniscience; 2. Nomologic scientific knowledge; 3. Superintelligence; 4. No disturbing. However, taking this characterization into consideration makes it possible to point out some deficiencies of the demon, among them, the possibility to carry out the necessary computation to predict future states of the universe. Two kinds of objections can be observed. The first objection is related to the nature of differential equations used in Physics and the second objection is related to computability issues. This second objection has been divided into three cases: (i) Initial conditions uncomputability, (ii) Problem uncomputability and (iii) Computational complexity issues.

Key-words: *determinism, Laplace, predictability, chaos, computability*

1. INTRODUÇÃO

A crença no determinismo laplaciano é muito comum dentro da comunidade científica, especialmente entre aqueles que são conhecedores da física.

Grosso modo, aqueles que subscrevem o determinismo acreditam que a previsão de qualquer fenômeno é sempre possível em princípio. Para tanto, seria necessário conhecer as leis que regem a natureza, o estado exato do universo em um dado instante e ter poder infinito de cálculo. No entanto, se reconhece que, na prática, a previsão precisa é, em geral, impossível. Essa impossibilidade é justificada por restrições circunstanciais. O impedimento se daria por questões operacionais (precisão infinita de dados, quantidade e complexidade das equações, quantidade de interações, etc). Por isso, acredita-se, também, que, apesar das dificuldades práticas, as previsões poderiam ser arbitrariamente precisas e os desvios atribuídos a algum tipo de ignorância.

Em engenharia, estas noções são particularmente populares e, inclusive, constituem pressupostos de trabalho. Por exemplo, em engenharia de sistemas se assume implicitamente que sistemas físicos podem, em princípio, ser completamente descritos e esgotados através das leis físicas e das ferramentas matemáticas, em especial, as equações diferenciais. Tais sistemas só não seriam esgotados, porque tornaria o problema intratável, já que o equacionamento seria muito complexo com uma quantidade enorme de equações e dados.

A questão da possibilidade de previsão é um aspecto importante para a engenharia, seja para prever o comportamento específico de certos sistemas, seja para fazer planejamento. Previsões precisas são muitas vezes necessárias.

Assim sendo, ao refletir um pouco sobre a questão da previsibilidade, naturalmente surge a pergunta: até que ponto somos realmente capazes de fazer previsões precisas? Ou uma indagação mais básica: será que as previsões realmente são sempre possíveis, pelo menos, em princípio?

A discussão feita neste trabalho tem como objetivo principal questionar a crença na previsibilidade completa dos sistemas físicos através de leis e cálculos. Ao focar na questão da previsão, trata-se de distinguir a noção de previsibilidade da noção de causalidade e, assim procedendo, evitar o difícil debate desta última. Muitas vezes, estas duas noções não são distinguidas claramente, levando a dificuldades e confusões.

Para tratar o assunto da previsibilidade, de uma série de questões matemáticas relevantes

à física, dos modelos e, em suma, às pretensões do determinismo laplaciano, que é a da possibilidade teórica de prever todo e qualquer fenômeno físico através de uma “inteligência” conhecida como o “Demônio de Laplace”, serão desenvolvidos os conceitos de computabilidade e de caos determinístico.

2. DETERMINISMO LAPLACIANO

A principal ideia de determinismo (e de ciência determinística) surgiu no começo do século XIX e foi proposta pelo matemático e astrônomo francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). O determinismo laplaciano e seus “parentes” próximos foram as únicas variedades de determinismo que receberam atenção na literatura filosófica (Earman, 1986). Sua influência foi tão significativa que as próprias definições e conotações que o termo adquiriu nos dicionários¹ guardam clara semelhança com a proposta de Laplace.

Laplace desenvolveu sua noção de determinismo em alguns de seus trabalhos. Objetivamente, a essência de tal proposta apareceu na introdução de seu *Essai philosophique sur les probabilités* de 1814, em um trecho que dizia o seguinte:

Podemos considerar o estado presente do universo como o efeito de um estado anterior e como a causa daquele que vai seguir. Uma inteligência que, em um instante dado, conhecesse todas as forças que animam a natureza e a situação respectiva daquilo que a compõe, aliás se ela fosse suficientemente vasta para submeter esses dados à análise, abrangeria, dentro da mesma fórmula, os movimentos dos maiores corpos do universo e dos átomos mais ligeiros: nada seria incerto para ela e o futuro, como o passado, estariam presentes aos seus olhos (LAPLACE, 1878-1912, v. 7, p. vi-vii, tradução nossa)².

Esta declaração começa com um tom de causalidade e termina identificando determinismo com previsibilidade (Earman, 1986). Nessa concepção, a causalidade e a possibilidade de previsão em princípio são vistos como inseparáveis. Veremos que é possível e, neste estudo, conveniente dissociar estas duas noções.

2.1 Antecedentes e contexto para o determinismo laplaciano

O paradigma de ciência da modernidade foi desenvolvido nos séculos XVI, XVII e XVIII e ainda tem forte influência sobre a ciência contemporânea.

Essa influência é sentida, principalmente, em certos ideais científicos como o ideal de simplicidade, de conhecimento certo, evidente, infalível e imutável, de apriorismo, de unificação do conhecimento em uma única teoria, de determinismo (no sentido de

¹ Comparar a noção laplaciana com, por exemplo, a seguinte definição de determinismo dada pelo dicionário Houaiss de Língua Portuguesa: “Princípio segundo o qual todos os fenômenos da natureza estão ligados entre si por rígidas relações de causalidade e leis universais que excluem o acaso e a indeterminação, de tal forma que uma inteligência capaz de conhecer o estado presente do universo necessariamente estaria apta também a prever o futuro e reconstituir o passado.”

² Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'Analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux.

possibilidade de prever em princípio qualquer evento), de fé cega com relação às capacidades racionais e lógicas humanas, etc. Muitos desses ideais ganharam força com a teoria mecânica proposta por Isaac Newton (1643-1727), que, com as contribuições científicas de seus predecessores, desenvolveu uma teoria que impressionou profundamente os cientistas dos séculos XVII, XVIII e XIX, pois representou uma grande síntese. Representou uma grande síntese porque unificou fenômenos celestes e terrestres, pois era capaz de explicar e/ou prever, na mesma teoria, o movimento dos corpos e o fenômeno das marés, na Terra, e o comportamento dos planetas e luas, no espaço. Também foi capaz de unificar teorias dispersas, incorporando-as. Por exemplo, as leis empíricas de Kepler, que descreviam o movimento dos planetas. Na teoria da gravitação, tais leis podiam ser simplesmente deduzidas dos princípios gerais, ou seja, das leis da gravitação e da dinâmica.

A teoria de Newton desenvolveu-se nos séculos XVIII e XIX e, através de sucessivos refinamentos das equações newtonianas do movimento, expandiu a análise para uma faixa mais ampla de fenômenos. Uma das pessoas que refinou as soluções de Newton foi justamente Laplace. Para o sistema solar, por exemplo, Newton forneceu apenas características gerais. Laplace refinou os cálculos e foi capaz de explicar o movimento dos planetas, luas e cometas em seus mínimos detalhes.

Laplace viveu na época do auge da teoria mecânica newtoniana, quando as aplicações bem-sucedidas estavam em expansão. Particularmente, para grande parte dos cientistas dos séculos XVIII e XIX, a teoria newtoniana era considerada uma descrição fiel e completa de todo o mundo físico.

E, justamente, a afirmação de Laplace pressupõe que todos os fenômenos da natureza fossem redutíveis à mecânica newtoniana e equacionados através do cálculo diferencial desenvolvido até aquela data. Ou seja, de que todos os fenômenos nada mais seriam do que choques e interações gravitacionais (forças) descritas completamente pelas leis de Newton expressas por equações diferenciais.

2.2 O Demônio de Laplace

Na famosa citação de Laplace é mencionada uma inteligência sobrenatural, que ficou conhecida como o “Demônio de Laplace”. Esta entidade possuiria uma série de características, as quais definem, de certa forma, a noção de determinismo e personificam a possibilidade de previsão. Nas palavras de Pessoa Jr. (2005, p. 184): “Um exemplo famoso seria o “Demônio de Laplace”, que é utilizado para que se dê sentido à expressão “previsibilidade em princípio” usado na definição de determinismo”.

Segundo Pessoa Jr (2005), as características do “Demônio de Laplace” são:

- 1) Onisciência instantânea: conhece o estado de todo o universo num t . Determinação das condições iniciais com precisão numérica infinita.
- 2) Erudição científica (nomológica): conhecimento das leis que regem o universo. Neste caso, as leis da mecânica clássica.
- 3) Super-inteligência: poder de computação. Usando as leis e os dados das condições iniciais, calcula (determina) a situação de qualquer instante do universo.
- 4) Não-distúrbio: o demônio não afeta de nenhuma forma o funcionamento da realidade.

No começo do século XIX, a erudição nomológica se referia apenas às equações da mecânica clássica, mas este elenco de leis precisou ser revisto dado os diversos avanços da

física. Por exemplo, em meados do século XIX, a teoria eletromagnética foi formalizada e, apesar das muitas tentativas (inclusive do próprio Maxwell), se constatou que ela não era redutível à mecânica newtoniana. Era uma teoria independente.

Posteriormente, no início do século XX, a teoria da relatividade e a mecânica quântica deram o *coup de grace* à física newtoniana: uma teoria, considerada por quase 200 anos como sendo a descrição fiel da totalidade da realidade física, foi relegada ao nível de uma mera aproximação de uma parte dos fenômenos conhecidos.

No entanto, apesar das novas descobertas, ainda era possível sustentar a ideia de determinismo laplaciano, pois boa parte das principais teorias da física são semelhantes à teoria newtoniana no seguinte quesito: conhecido o estado de um sistema em um dado instante, todos os demais instantes estarão determinados pelas equações da teoria (Penrose, 1999).

Então, para acomodar os avanços posteriores à mecânica clássica, e evitar o problema causado pelo surgimento de novas teorias físicas, pode-se definir uma versão estendida do “Demônio de Laplace”. A nova versão teria as seguintes características:

1) Onisciência instantânea: conhece o estado de todo o universo num t . Determina as condições iniciais com precisão infinita.

2) Erudição científica (nomológica) completa: todas as leis existentes da física. Dispensa a necessidade de reduzir toda a realidade a uma única teoria, mas todos os fenômenos continuariam sendo redutíveis a um conjunto finito de leis (maior do que antes, mas ainda redutível).

3) Super-inteligência: poder de computação. Usando as leis matemáticas e os dados, calcula (determina) a situação de qualquer instante do universo. Usaria o conjunto de leis finito (dado por 2), dados com precisão numérica infinita (dado por 1).

4) Não-distúrbio: o demônio não afeta de nenhuma forma o funcionamento da realidade.

Neste novo demônio, a essência que permanece é a crença de que “basta” conhecer leis matemáticas para determinar completamente qualquer instante passado ou futuro, inserindo os dados nas equações matemáticas e calculando.

3. PROBLEMAS COM O DEMÔNIO DE LAPLACE

Existem algumas objeções que podem ser feitas aos poderes do “Demônio estendido” e, conseqüentemente, ao “Demônio clássico”. Daqui em diante, quando se falar de “Demônio de Laplace” ou demônio, a referência será ao “Demônio estendido”.

São, basicamente, duas objeções. Uma, mais antiga, relacionada às equações diferenciais e outra, mais moderna, relacionada a questões de computabilidade.

1) Possibilidade de resolução das equações diferenciais.

2) Problemas de computabilidade, divididos em três argumentos:

i. Incomputabilidade das condições iniciais.

ii. Incomputabilidade do problema (problema impossível de ser resolvido em princípio).

iii. Caso computável, mas com considerações de complexidade computacional.

3.1 Solubilidade das equações diferenciais

As teorias físicas são expressas matematicamente por equações diferenciais ordinárias ou parciais. Elas podem ser entendidas como funções $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$.

Um problema que se coloca de imediato às capacidades do demônio é a possibilidade de solução exata das equações diferenciais. Terão todas as equações diferenciais solução?

A tabela 1 responde à pergunta:

Tabela 1. Classificação de problemas matemáticos e sua facilidade de solução por métodos Analíticos. (Bertalanffy, 1973, p. 39)

	Equações lineares			Equações não-lineares		
	Uma equação	Várias equações	Muitas equações	Uma equação	Várias equações	Muitas equações
Algébrica	Trivial	Fácil	Essencialmente impossível	Muito difícil	Muito difícil	Impossível
Diferencial ordinária	Fácil	Difícil	Essencialmente impossível	Muito difícil	Impossível	Impossível
Diferencial parcial	Difícil	Essencialmente impossível	Impossível	Impossível	Impossível	Impossível

Existem diversas situações em que as equações diferenciais simplesmente não podem ser resolvidas analiticamente. Esta é uma primeira limitação imposta às capacidades cognitivas do “Demônio de Laplace”.

Dificuldades desse tipo foram percebidas há muito tempo. Já no século XVIII, o matemático e físico suíço Leonhard Euler (1707-1783) apontava para os problemas de resolução. No entanto, esse fato não abalou muito a crença no método das equações diferenciais, porque diversos problemas importantes tinham solução e, para aqueles problemas que não tinham sido resolvidos, acreditava-se que seriam solucionados futuramente. Era apenas uma questão de tempo.

Dessa forma, o estudo de certas classes de equações diferenciais (sobretudo, as não-lineares) foram relegadas a um segundo plano. A questão foi retomada no final do século XIX, com os trabalhos do matemático francês Henri Poincaré (1854-1912) sobre o problema dos n corpos sob interações gravitacionais mútuas. Desses estudos emergiram constatações surpreendentes, que formaram as sementes da Teoria do Caos Determinístico.

3.2 Problemas computacionais com o “Demônio de Laplace”

3.2.1 Computabilidade

Pode-se dizer que computabilidade é a propriedade de entidades lógico-matemáticas (números, conjuntos, funções, sentenças em linguagens formais, etc.) de poderem ser calculadas por máquinas de Turing (ou, simplesmente, calculadas). Em outros termos, se um processo (cálculo de números, construção de conjuntos, expressões efetivas de funções, dedução de uma sentença, etc.) pode ser realizado por uma máquina de Turing, então tal processo pode ser chamado de computável, efetivamente calculável, recursivamente solúvel,

etc. Em suma, ser computável é ser solúvel.

Os resultados do matemático britânico Alan Turing (1912-1954) (e das formulações equivalentes) mostram as limitações de qualquer linguagem formal e qualquer sistema axiomático.

3.2.1.1 O que é computável?

O principal resultado do artigo *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, de Turing, é a existência de problemas incomputáveis. Ou seja, problemas para os quais não existe máquina de Turing ou procedimento efetivo que os resolva e, assim, são problemas insolúveis.

O artigo apresenta dois problemas incomputáveis: o *halting problem* e os números incomputáveis. Hoje são conhecidos inúmeros problemas incomputáveis e tais problemas são a regra e não a exceção dentro da matemática clássica.

À luz da máquina de Turing e da teoria da computação, o “Demônio de Laplace” pode ser avaliado de forma bastante pontual.

Retomando as características do demônio é possível levantar algumas questões em relação a suas capacidades.

1) Onisciência instantânea

Considerando apenas a questão dos dados numéricos, será possível, em princípio, determinar o estado em t com precisão infinita?

2) Erudição científica (nomológica) completa

Será que um número finito de leis basta para esgotar todos os fenômenos possíveis?

3) Super-inteligência

Além da questão da resolução das equações diferenciais, não haverá outros problemas insolúveis? E se solúvel, não demoraria um certo tempo para calcular? Existiriam outros problemas?

3.2.2 Computabilidade das condições iniciais e a divergência em sistemas caóticos

Com relação à primeira capacidade do “Demônio de Laplace”, definida aqui como onisciência instantânea, levanta-se a questão: considerando apenas os dados numéricos, será possível, em princípio, determinar o estado em t (ou as condições iniciais) com precisão infinita?

Admitindo que as leis físicas são funções dos números reais (ou *continuum*) ou complexos, a possibilidade de representação e de obtenção de números é limitada em princípio.

O conjunto de todas as máquinas de Turing é enumerável, logo existe uma quantidade enumerável de números reais que têm descrição algorítmica ou lei de formação. Estes são números computáveis.

Por outro lado, existe uma infinidade não-enumerável de números reais. Logo, existe uma infinidade não-enumerável de números reais que não admitem descrição algorítmica e, portanto, são incomputáveis.

A seguir será feita uma apresentação mais detalhada do \mathbb{R} , seus subconjuntos, sua computabilidade e, quando forem apresentados os números reais normais, o motivo para a existência da incomputabilidade.

Uma forma de dividir o \mathbb{R} é pela racionalidade de seus números. A união do \mathbb{Q} com o conjunto dos números irracionais é o próprio \mathbb{R} .

\mathbb{Q} (de quociente) é o conjunto dos números racionais. São todos os números que podem ser representados na forma a/b (que é uma fração ou razão e, daí, o nome racional) onde a e b são números inteiros e $b \neq 0$. Todo número racional tem expansão decimal finita ou periodicamente infinita ($\frac{1}{3}=0,333333\dots$) (Penrose, 1999).

O conjunto dos números irracionais é formado por números que não podem ser representados por razões (e daí seu nome). São exemplos de números irracionais o $\sqrt{2}$ (1,414213...), o $\sqrt{3}$ (1,732050...), o número áureo ($1 + \sqrt{5}/2$), o número de Euler (e) (2,718281...), o π (3,141592...), etc.

Todo o \mathbb{Q} é computável.

Uma infinidade contável de números irracionais é computável. São exemplos disso o $\sqrt{2}$, o $\sqrt{3}$, o número áureo, o e , o π , etc.

O π pode ser calculado com precisão arbitrária (no sentido de que o único gargalo para obter infinitas casas decimais é o tempo), através do seguinte algoritmo:

$$\pi = 4 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1}$$

O número de Euler (e) também tem seu algoritmo:

$$e = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!}$$

Por outro lado, existe uma infinidade incontável de números irracionais que não têm um algoritmo correspondente, ou seja, são impossíveis de serem descritos algorítmicamente e, assim, são números incomputáveis.

Logo, apenas uma pequeníssima parte do \mathbb{R} é computável estando a grande maioria além de qualquer descrição algorítmica. Este é um dos pontos de vista que mostra a disparidade entre o tamanho do conjunto dos números computáveis e o tamanho do conjunto dos números incomputáveis. São conjuntos de cardinalidade infinita diferente.

Um fato interessante a respeito das propriedades do \mathbb{R} vale ser mencionado. Existe dentro do \mathbb{R} o que se denominam “números reais absolutamente normais”, que são números reais, no intervalo $[0,1]^3$, que possuem constituição total e intrinsecamente aleatória, onde nenhum padrão pode ser encontrado. Por essa razão, nenhum algoritmo pode computá-los. São números incomputáveis, pois nenhum conjunto de regras é capaz de descrever algo que não possua qualquer padrão.

Com o conceito de número real normal, o matemático francês Émile Borel obteve, no começo do século XX, um resultado notável: demonstrou que a probabilidade de que um número real no intervalo $[0,1]$ seja absolutamente normal é 1 (100%) e, reciprocamente, a

³ Adota-se o intervalo entre 0 e 1 apenas para destacar a expansão decimal, que é o que distingue os números irracionais dos racionais. Poderia ser qualquer outro intervalo na reta real.

probabilidade de que um número real no intervalo $[0,1]$ seja computável (cardinalidade \aleph_0) é 0 (0%). Ou seja, esta é uma forma de mostrar como os números incomputáveis (que têm cardinalidade \aleph_1) formam a esmagadora maioria dos números reais (Chaitin, 2009).

Então, a completa aleatoriedade ou completa falta de padrão são o motivo da incomputabilidade. Esta conclusão não se restringe aos números, mas vale para qualquer entidade lógico-matemática.

Assim, caso o “Demônio de Laplace” necessite de um algoritmo de formação para representar cada condição inicial e que cada uma delas possa ser um número real qualquer, a determinação do estado em t com precisão infinita é impossível em princípio, pois a probabilidade de que esse estado seja representado por um conjunto de números incomputáveis é de 100%. Mais ainda, existe uma infinidade incontável de números irracionais cujos dígitos encontram-se dispostos de forma autenticamente aleatória.

Apenas uma infinidade contável de números reais não tem sua determinação limitada em princípio. Seriam limitadas por questões operacionais.

Os sistemas caóticos são um exemplo de sistemas físicos/matemáticos divergentes, onde a ausência de precisão infinita na determinação das condições iniciais torna impossível qualquer previsão de longo termo.

3.2.2.1 Sistemas caóticos: uma pequena digressão

É um tanto paradoxal o nome Teoria do Caos Determinístico, dada a oposição de significados entre os termos da expressão. Esse nome se refere a sistemas que podem ser descritos por equações diferenciais, e, portanto, são considerados determinísticos (devido ao teorema de existência e unicidade da solução das equações diferenciais), mas, ao mesmo tempo, têm um caráter de aleatoriedade e imprevisibilidade.

Poincaré demonstrou que, em alguns sistemas dinâmicos (entre eles, o dos 3 corpos interagindo através de forças gravitacionais), qualquer imprecisão na determinação das condições iniciais resultaria na divergência das soluções, impossibilitando a predição de estados posteriores (Lisboa, 2004).

Segundo Lisboa (2004, pp. 96-97)

No cerne do comportamento caótico está a propriedade, exibida por certos sistemas, de *Dependência Sensitiva das Condições Iniciais* [DSCI]. Quando presente, a DSCI é responsável por amplificar pequenas incertezas ou diferenças no estado inicial, transformando-as em incertezas colossais na evolução do sistema a longo termo.

Em tese, seria possível prever mesmo o comportamento caótico determinístico, embora, para isso, necessitar-se-ia de precisão infinita na determinação do estado inicial de um dado sistema regido por equações determinísticas que apresentassem DSCI.

O trabalho de Poincaré foi revalorizado a partir da década de 1960, sobretudo pelos estudos do meteorologista estado-unidense Edward Lorenz (1917-2008).

Lorenz fazia simulações computacionais com sistemas de equações diferenciais para estudo de fenômenos atmosféricos. Um dia simulava um certo conjunto de equações diferenciais não-lineares, as quais modelavam a convecção atmosférica. Ele havia simulado uma vez, mas queria repetir a simulação, só que durante um tempo maior. Para não ter que

fazer tudo de novo e esperar várias horas, anotou os dados do começo da segunda metade da simulação antiga e rodou novamente o programa a partir dali. Ele saiu por algumas horas e, na volta, para seu espanto, a máquina não havia repetido a segunda metade da simulação antiga.

O que havia acontecido? Houve algum problema na máquina?

A máquina estava perfeita. O problema foram as condições iniciais inseridas por Lorenz. Na primeira simulação, a condição inicial do ponto era, na verdade, 0.506127 (que era dada pela precisão de 6 casas decimais do computador) e Lorenz truncou o dado, colocando 0.506, pois acreditava que essa pequena diferença (uma parte em mil) não teria grande peso. No princípio, as simulações coincidiam, mas, depois, divergiram completamente.

Lorenz batizou tal fenômeno como “efeito borboleta”, pensando na metáfora de uma borboleta batendo suas asas em uma certa região do planeta podendo provocar tempestades em outra região.

A divergência resulta das não-linearidades na equação que fazem com que as pequenas imprecisões das condições iniciais sejam amplificadas exponencialmente (Lisboa, 2004).

Foi a partir daí, que a Teoria do Caos Determinístico começou a desenvolver-se de forma mais sólida.

A importância desta digressão é dar um exemplo de sistemas onde qualquer imprecisão na definição das condições iniciais leva-o a uma divergência exponencial, o que torna o sistema praticamente imprevisível. Para tais sistemas, é necessária a precisão infinita das condições iniciais para que a previsão seja possível. Em termos do “Demônio de Laplace”, a impossibilidade de alcançar tal precisão não se deve a questões técnicas ou operacionais, mas, sim, a questões de princípio, é capital.

Essas questões envolvem problemas de descrição dos dados, existindo, entre eles, inclusive, dados cujo conteúdo é completamente aleatório (números reais absolutamente normais). Ou seja, já na determinação do estado em um t , o demônio enfrentaria um problema intransponível. Logo de início, o demônio enfrentaria o problema para o qual deveria ser a solução: a questão da aleatoriedade.

3.2.3 Incomputabilidade do problema em si

Com relação à segunda capacidade do “Demônio de Laplace”, definida aqui como a erudição científica (nomológica) completa. Todas as leis existentes da física, as quais constituem um conjunto finito de leis. Será que um número finito de leis basta para esgotar todos os fenômenos possíveis?

A máquina de Turing, põe sérias dúvidas de que isso seja possível. Através dela é possível afirmar que um número finito de leis (algoritmo) é incapaz de resolver uma série de problemas. Existe uma infinidade de problemas matemáticos incomputáveis. Diversos destes problemas são encontrados na matemática usada nas leis da física.

Com relação à terceira capacidade do “Demônio de Laplace”:

3) Super-inteligência

Poder de computação: usando as leis matemáticas e os dados, calcula (determina) a situação de qualquer instante do universo. Usaria o conjunto de leis finito (dado por 2), dados com precisão infinita, numérica ou descritiva (dado por 1).

Além das questão de resolução das equações diferenciais, não haverá outros problemas insolúveis? Sim, existem diversos problemas insolúveis. Existem problemas matemáticos insolúveis e a impossibilidade da determinação numérica das condições iniciais ou do estado do universo em um t com precisão infinita.

3.2.4 Problemas computáveis e considerações sobre complexidade computacional

Um outro questionamento com relação à terceira capacidade do “Demônio de Laplace” seria: e se solúvel o problema, não demoraria um certo tempo para calcular? Existiriam outros problemas?

Existem problemas como o do caixeiro viajante ou da quebra de senhas que são perfeitamente computáveis, mas tem complexidade computacional exponencial, o que inviabiliza, na prática, a resolução de tais problemas a partir de certo ponto.

Ao que tudo indica, os únicos problemas que o “Demônio de Laplace” poderia resolver seriam alguns casos de complexidade computacional exponencial, porque o demônio teria velocidade infinita de processamento e a resposta não demoraria.

Mas, por que apenas alguns casos? Parecem haver limitações até para os problemas solúveis. Pois, mesmo que o problema seja computável (há uma solução explícita), permanece o problema da determinação de números reais incomputáveis dentro de uma função real contínua.

Essa determinação poderia ser contornada nos seguintes casos:

- 1) Quando a precisão dos dados não seja importante, poderá obter-se uma aproximação.
- 2) Quando os dados são computáveis, como no caso da quebra de senha (que são cadeias finitas de caracteres), que podem ser associadas a números naturais.
- 3) Quando for um número finito de irracionais computáveis, pois precisaria de um número finito de algoritmos de formação.

Teria dificuldades de contornar o problema da determinação dos dados no seguinte caso:

- 1) Mesmo que o demônio tivesse que lidar apenas com uma infinidade de irracionais computáveis (uma hipótese simplificadora), teria que administrar uma infinidade contável de algoritmos de formação, além, é claro, dos algoritmos do problema computável, que são finitos.

Por questões técnicas, mas, também, por dificuldades de princípio (infinitos algoritmos), os computadores trabalham apenas com números racionais.

4. CONCLUSÕES

Como Earman (1986) ressaltou, Laplace igualou determinismo com previsibilidade e ligou-a com causalidade. O termo causalidade é bastante problemático e objeto de um antiquíssimo, extenso e complexo debate. Este trabalho não pretendia entrar nesse debate e, ao fornecer um delineamento à noção de previsibilidade, afastar-se de uma discussão a respeito da noção de causalidade. Muitos dos debates em torno do determinismo perdem-se ao forçar o vínculo entre estas duas noções.

Laplace sugeriu que a previsão seria algo cognoscível, algo ao alcance do conhecimento humano como princípio. Mas, dadas as considerações feitas ao longo deste artigo, a definição de determinismo por meio do “Demônio de Laplace” fica muito difícil de ser sustentada.

A capacidade lógica de prever e de resolver certos problemas é limitada. Esta limitação não é apenas operacional (quantidade de informação e capacidade de cálculo), como muitos acreditam, mas de princípio. Existem limitações de descrição e de operação de números reais, que ficaram mais evidentes através dos desenvolvimentos ocorridos. Da perspectiva do “Demônio de Laplace”, a possibilidade de previsão por meios lógicos e racionais, encontra limites inerentes.

AGRADECIMENTOS

Aos participantes das mesas-redondas “Reduccionismo, Emergência, Determinismo e Holismo”, dentro do *VII Encontro de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul*, pelas discussões e contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

Ao grupo Redux, grupo multidisciplinar coordenado pelo professor Osvaldo Frota Pessoa Jr. do Departamento de Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, formado por Fábio Garcia Gatti, Nelson Rui Ribas Bejarano, Luiz Roberto Rigolin da Silva, Fábio Rodrigo Leite e Yara Kulaif. O grupo como um todo e estas pessoas individualmente, foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTALANFFY, Ludwig von. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes, 1973.
- CHAITIN, Gregory John. *MetaMat!: em busca do ômega*. São Paulo: Perspectiva, 2009 (a).
- _____. Randomness in arithmetic and the decline and fall of reductionism in pure mathematics. *European Association for Theoretical Computer Science Bulletin* **50**: 314-328, 1993 (b).
- EARMAN, John. *A primer on determinism*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1986.
- HOUAISS, Antônio (org.). *Grande Dicionário Houaiss de Língua Portuguesa*. Rio Janeiro: Objetiva. Disponível em: < <http://houaiss.uol.com.br>>. Acesso em: março de 2010.
- LAPLACE, Pierre Simon. *Oeuvres complètes de Laplace*. Paris: Gauthier-Villars, 1878-1912.
- LISBOA, Alexandre Coutinho. *Introdução ao Caos e a métodos de controle a partir do paradigma dinâmico circuito de Chua*. São Paulo, 2004. Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PENROSE, Roger. *The emperor’s new mind: concerning computers, minds and the laws of physics*. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- PESSOA JR., Osvaldo Frota. Físicalismo redutivo e sondas epistemológicas. Vol. 1. In: III ENCONTRO DA REDE PARANAENSE DE PESQUISA EM HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA, 3, 2005, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SCHLA/UFPR, 2005. P. 179-190.

ANÁLISE DE UM TÍPICO ARGUMENTO MÍSTICO-QUÂNTICO

Oswaldo Pessoa Jr.*

Resumo: *O interesse que os alunos do ensino médio tem pela associação entre espiritualidade e física quântica, veiculada pela mídia, é uma boa oportunidade para discutir alguns conceitos básicos de física moderna no ensino médio. Este trabalho fornece subsídios para esta discussão, analisando criticamente um típico argumento místico-quântico, conhecido como “a lei da atração”.*

Palavras-chave: *consciência; espiritualidade; física quântica; interpretações; misticismo quântico; problema da medição.*

ANALYSIS OF A TYPICAL QUANTUM MYSTICAL ARGUMENT

Abstract: *High school students are usually interested in the connection that appears in the media between spirituality and quantum physics. This is a good opportunity to discuss some basic concepts of modern physics in the classroom. This paper purports to help out the teacher in this discussion, critically analyzing a typical quantum-mystical argument, known as “the law of attraction”.*

Key-words: *consciousness; spirituality; quantum physics; interpretations; quantum mysticism; measurement problem.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho surgiu a partir da pergunta: como aproveitar a onda de misticismo quântico para ensinar física moderna na sala de aula? O interesse que alunos do Ensino Médio costumam demonstrar pelo livro e filme *Quem somos nós?*, ou pelo livro e filme *O Segredo* – obras que utilizam conceitos de Física Quântica para argumentar a favor de uma visão de mundo espiritualista – permitiria que se tentasse ensinar a eles elementos de Física Quântica a partir da discussão dessas obras místicas. Neste artigo, não me deterei nas primeiras lições que podem ser dadas para ensinar Física Quântica (Pessoa, 2006, pp. 1-22), mas enfocarei diretamente os temas de Física Quântica que estão por trás de um típico argumento místico-quântico, usado para sustentar a chamada “lei da atração”, segundo a qual o pensamento positivo poderia transformar a realidade diretamente (e não só através de nossas ações no mundo), mesmo à distância. Espera-se que essa discussão possa servir de subsídio para que o professor aproveite o interesse dos alunos pela espiritualidade quântica para introduzir alguns conceitos de física moderna.

* Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. Av. Prof. Luciano Gualberto, 315, 05508-900, São Paulo, SP, Brasil. Email: opessoa@usp.br

O presente estudo de um argumento místico-quântico se encaixa na discussão sobre as oposições entre o discurso científico e o discurso místico e religioso, e toca também na questão da pseudociência e sua discussão em sala de aula. As possíveis relações entre a educação científica e a educação religiosa são discutidas de maneira bastante extensa e clara por Sepulveda & El-Hani (2004, pp. 142-55), que estudam como alunos protestantes encaram a teoria da evolução biológica. A concepção mística estudada no presente trabalho não constitui uma doutrina religiosa articulada, mas pode ser classificada como uma visão romântica, animista, esotérica ou ocultista que preenche vários dos anseios humanos que geralmente preocupam as religiões estabelecidas. As relações entre física quântica, misticismo e educação têm sido abordadas por alguns autores, como Leane (2007, pp. 81-105) e Marin (2009). Sobre a questão da discussão da pseudociência na sala de aula, há em português os textos de Lee (2003) e Venezuela (2008).

A metodologia adotada no presente artigo segue, de maneira geral, o que é conhecido como “filosofia analítica” (o que é diferente da “metodologia filosófica” de comentário aos textos de filósofos, discutida por exemplo por Folscheid & Wunenburger, 2002), utilizando especialmente os recursos da área de filosofia da ciência. Busca-se analisar um argumento reconstruindo-o por meio de uma lógica informal, esmiuçando suas premissas e conclusão. Criticam-se então as premissas sendo utilizadas, e para isso faz-se recurso à área científica pertinente para a discussão da questão, que no caso é a Física Quântica. Dado que os assuntos discutidos envolvem questões ainda em aberto na Mecânica Quântica, faz-se necessário ir além do que é ensinado nos livros didáticos universitários e levar em conta também os estudos da Filosofia da Física. Ao fazer isso, é preciso considerar as diferentes posições filosóficas gerais (como materialismo e espiritualismo) e diferentes interpretações da Teoria Quântica, que darão respostas diferentes aos problemas que surgem. Mesmo com essa ampla gama de perspectivas, pode-se mostrar que certas teses são de difícil sustentação. É o que faremos a seguir.

2. UM ARGUMENTO MÍSTICO-QUÂNTICO: A LEI DA ATRAÇÃO

As posições filosóficas “realistas”, que vão além do domínio dos fenômenos observados e especulam a respeito da natureza do Universo e da alma ou mente humana, podem ser divididas em duas grandes correntes: o *materialismo* ou fisicismo, que defende que a alma é um produto do corpo, e portanto desaparece na morte, e o *espiritualismo*, que considera que a alma é pelo menos parcialmente independente do corpo e pode sobreviver em algum sentido à morte do corpo.

Nesse debate a respeito da natureza da alma ou da mente, surgiu nas últimas décadas a noção de que a física quântica é essencial para o debate. Essa concepção pode ser chamada genericamente de “neuroquantologia”, e ela é consistente tanto com a posição materialista quanto a espiritualista. Nesse período, houve uma grande difusão de ideias espiritualistas quânticas na mídia, com aplicações em áreas distantes da física, como a psicologia, medicina, administração de empresas, etc.

Quando a exploração das ideias espiritualistas quânticas é feita fora dos cânones aceitos de cientificidade ou de racionalidade, pode-se atribuir-lhe o nome “misticismo quântico”

(Pessoa, 2010b).¹ Um exemplo bastante claro de tese místico-quântica é apresentada no livro e filme *O Segredo* (Byrne, 2007), e chamada de “lei de atração”. Esta tese pode ser reconstruída da seguinte maneira.

Ao entrar em contato com outras pessoas ou ambientes, nossa mente pode entrar em um “emaranhamento quântico” com essas outras mentes ou até com objetos. Mesmo após a separação, o estado emaranhado permanece. Podemos então efetuar uma medição quântica e com isso provocar um colapso não-local da onda quântica emaranhada. O resultado disso é a transformação do estado da outra pessoa ou do ambiente. Dado que na física quântica o observador pode escolher se o fenômeno observado será onda ou partícula, podemos também escolher se o colapso quântico será associado a uma energia-chi² positiva ou negativa. Para isso, é preciso treinar as técnicas de pensamento positivo, divulgadas em diversos livros de auto-ajuda quântica. Uma vez que esse segredo é aprendido, pode-se utilizar o pensamento para alterar diretamente a realidade, mesmo à distância, e assim transformar o mundo de uma maneira positiva para nós.

Esse argumento foi apresentado brevemente em Pessoa (2010a, pp. 296-97) e faz uso basicamente de cinco teses:

- (i) O cérebro ou a consciência humana é essencialmente quântica.
- (ii) Duas consciências podem se acoplar quanticamente, em um estado emaranhado, mesmo estando separadas a uma grande distância.
- (iii) O colapso quântico é causado pela tomada de consciência do observador.
- (iv) No processo de medição, a vontade do experimentador pode escolher se um fenômeno quântico é corpuscular ou ondulatório.
- (v) Analogamente, para um par emaranhado, a vontade de um ser humano pode escolher se o outro colapsará para um estado de energia-chi positiva ou negativa.

Dessas teses, a quarta é aceitável, a terceira irrefutável (apesar de haver outras explicações para o colapso), e a primeira é uma tese empírica, ainda em aberto mas pouco aceita. As teses mais questionáveis são a segunda e a última. A tese (ii) é justificada argumentando-se que ela explica experimentos de parapsicologia (Goswami, 2005, p. 50-52), mas tais experimentos são pouco aceitos na comunidade científica. Já a tese (v) é construída por analogia com a quarta tese, mas tal analogia é falha, conforme explicaremos na seção 6.

¹ O termo “misticismo” designa a concepção de que é possível conhecer Deus ou o transcendente de forma intuitiva, emotiva ou direta, sem a mediação de um discurso racional. Ela se aplica de maneira bastante apropriada às correntes filosóficas orientais, marcadas pela experiência mística da dissolução do eu. O recente movimento de difusão de ideias espiritualistas quânticas se iniciou em 1975 com o livro de Fritjof Capra (1983), *O tao da física*, que pode ser chamado de “místico quântico”, já que sugere que muitos avanços da física contemporânea estavam presentes nas antigas doutrinas místicas orientais. Assim, chamaremos ao grosso da literatura popular que defende uma psicologia quântica e teses correlatas de “misticismo quântico”. Tal termo sugere que boa parte das teses apresentadas nesses livros não tem base científica, mas isso, é claro, é um ponto debatido entre os defensores e os críticos de tais livros.

² Designarei por “energia-chi” a noção mais mística de energia associada às antigas filosofias orientais, especialmente o taoísmo, distinguindo-a do conceito de “energia” usado na física moderna.

3. A INTERPRETAÇÃO SUBJETIVISTA

Comecemos nossa análise com a tese (iii), de que a consciência seria a responsável pelo colapso quântico. Esta afirmação surgiu na década de 1930, e é a tese central da interpretação “subjetivista” da teoria quântica, proposta por London & Bauer ([1939] 1983). Apesar de parecer estranho atribuir tais poderes para a consciência humana, essa interpretação consegue dar conta de todas as situações experimentais propostas até hoje.

A maneira mais didática de explicar a interpretação subjetivista é considerá-la uma interpretação realista que toma o objeto quântico como uma onda espalhada no espaço tridimensional. Em um experimento como o de Stern-Gerlach, para um átomo único (Figura 1), ao representarmos o estado do sistema logo antes da detecção em D_A ou D_B , obtemos uma superposição $\psi = \psi_A + \psi_B$, onde A e B indicam posições diferentes. Para uma interpretação ondulatória realista, que interpreta a função de onda ψ (ou melhor, seu módulo quadrado $|\psi^2|$) de maneira literal, o átomo se encontra distribuído simetricamente entre as posições A e B . Logo após a medição, no entanto, o estado final do átomo corresponde a uma posição bem definida (na figura, a posição A), e diz-se que ocorreu um “colapso” da onda quântica. Este processo físico, porém, é não-local, pois a componente da onda que rumava para B desaparece instantaneamente quando a detecção em D_A ocorre. Esta não-localidade pode ser vista como consequência do teorema de Bell, que proíbe uma extensa classe de teorias realistas locais.

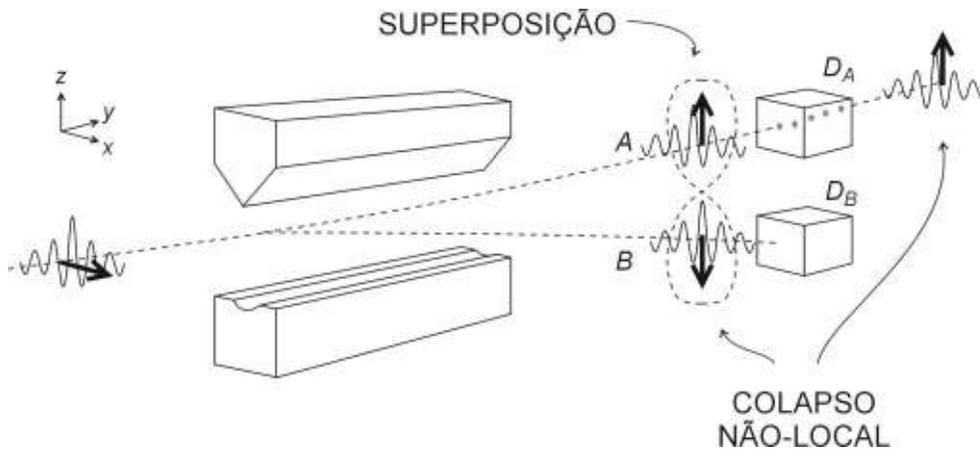


Fig. 1. Superposição e colapso no experimento de Stern-Gerlach.

O processo de medição, porém, envolve diversas etapas, então se pode perguntar qual estágio do processo de medição é responsável pelo colapso. A Figura 2 ilustra diferentes possibilidades. A primeira é que o colapso ocorre na interação do átomo com o *detector* (antes da amplificação), representado na figura por finas placas metálicas. Se o átomo incide em uma destas placas, um elétron é liberado, e este é submetido a um

processo de *amplificação*. Uma fotomultiplicadora (*FM*) ou outro equipamento mais moderno transforma uma corrente de um único elétron em uma corrente de milhões de elétrons. Para realizar este feito, é preciso fornecer energia ao sistema, e o sistema se acopla ao ambiente externo. Será que é esta a etapa na qual ocorre o colapso? Uma amplificação adicional (*A*) leva finalmente a um *registro* macroscópico, representado na figura pela tela de um osciloscópio. Por fim, um ser consciente *observa* o fenômeno e, ao final de toda esta cadeia, temos a certeza de que o átomo se localiza em apenas um dos caminhos. Mas em qual etapa ocorreu o colapso?

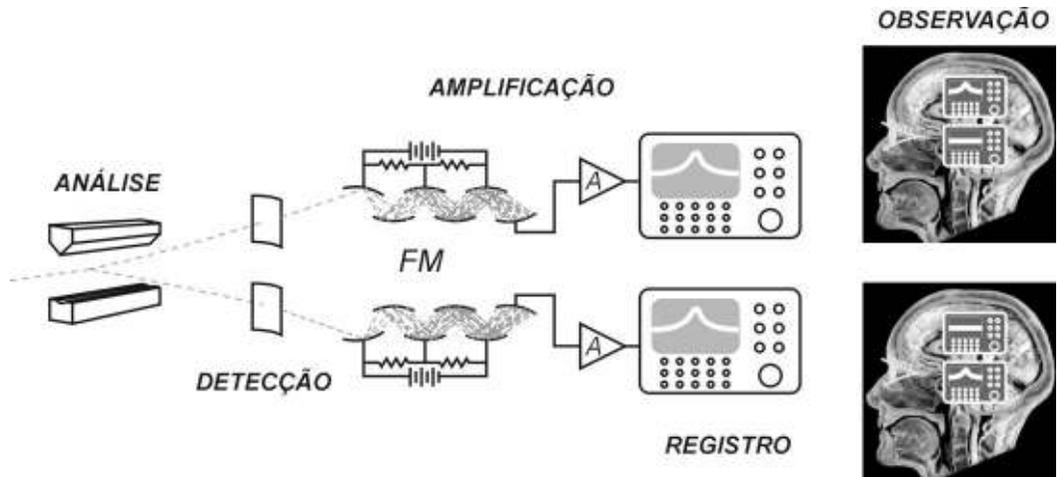


Fig. 2. Etapas no processo de medição. Representam-se os dois resultados possíveis da medição, e a questão é determinar quando a superposição (entre os dois caminhos) deixa de existir.

Podem-se dividir as respostas a esta pergunta em duas classes. A primeira, de caráter “objetivista”, defende que a realização de uma amplificação é condição suficiente para a ocorrência do colapso (mas esta condição não é necessária, já que num “experimento de resultado nulo” ocorre colapso sem a transferência de um quantum de energia). Isso é consistente com a interpretação que considera que o registro macroscópico irreversível é suficiente para caracterizar o colapso. A segunda classe pode ser chamada a do “observador quântico”, e nega que a amplificação seja suficiente para a ocorrência do colapso. Esta classe engloba a interpretação subjetivista e a interpretação dos muitos mundos. A primeira considera que o colapso ocorre durante a observação consciente, a segunda defende que mesmo o observador humano entra em uma superposição quântica (Pessoa, 2007).

A interpretação que nos interessa aqui é a subjetivista, explicitada por London & Bauer. Ela considera que há um único estado do observador (que vê a partícula ou em *A* ou em *B*), e não as duas componentes representadas à direita na Figura 2. Segundo esta visão, o colapso ocorre apenas quando um ser consciente observa o fenômeno. Por exemplo, considere que um objeto quântico seja representado por uma superposição de

estados bem-localizados, como a superposição $\psi_A + \psi_B$ da Figura 1, onde A e B são os resultados possíveis da medição. Suponha que este átomo único incida em uma chapa fotográfica (ao invés dos detectores da Figura 1), e que estas chapas não sejam imediatamente reveladas, mas guardadas em um lugar sem luz durante um ano. Segundo a interpretação subjetivista, o colapso só ocorrerá no instante em que a chapa for revelada e um cientista observar o resultado!

Apesar de estranha, não há como provar que esta interpretação seja falsa. Poderíamos talvez ter colocado uma segunda chapa fotográfica *atrás* da primeira, e após 6 meses, do outro lado da Terra, sem os cientistas saberem, poderíamos ter revelado esta segunda chapa, para antecipar o resultado a ser obtido com a primeira chapa após um ano. Mas neste caso, para a interpretação subjetivista, o colapso ocorreria no instante em que esta chapa adicional fosse observada, e tal colapso reduziria instantaneamente o estado das duas chapas, mesmo separadas a uma grande distância (este exemplo é devido a Heitler, e discutido em Pessoa, 2001).

A interpretação subjetivista é pressuposta no argumento que estamos analisando neste artigo (no item *iii*). Apesar de esta tese ser aceita apenas por algumas dentre as dezenas de interpretações possíveis da teoria quântica, ela dá conta adequadamente de todos os experimentos quânticos e, portanto, o seu uso é aceitável no argumento em questão. O mais importante representante desta concepção, hoje em dia, é o físico Henry Stapp (2007).

4. O CÉREBRO QUÂNTICO

Examinemos agora a tese (*i*) da seção 2, segundo a qual o cérebro humano (ou a consciência humana) é essencialmente quântica. Esta tese tem sido defendida por alguns cientistas, dos quais mencionaremos alguns (Atmanspacher, 2006; Pessoa, 1994).

O renomado físico e matemático Roger Penrose e o anestesologista Stuart Hameroff têm defendido a tese de que processos essencialmente quânticos, como a manutenção de superposições (como a da Figura 1, antes da medição), ocorreriam dentro de microtúbulos de proteína, presentes em neurônios e em outras células. Tais microtúbulos têm comprovadamente uma função estrutural, formando o “citoesqueleto” das células, e também funções de transporte. Não há evidências fortes de que esses tubos de apenas 25 nanômetros tenham uma função cognitiva, ou desempenhem algum papel na formação da consciência humana.

Mesmo assim, esses autores, assim como alguns outros, acreditam que o cérebro humano tenha capacidades cognitivas que nenhuma computador poderia ter, como a capacidade de ter intuições matemáticas. Se de fato a mente humana tiver uma capacidade computacional que nenhum computador digital pode possuir, talvez isso estivesse relacionado com a computação quântica. A teoria da computação quântica mostra que certos problemas intratáveis por computadores convencionais (pois o tempo de processamento aumenta exponencialmente com o número N de entradas) podem ser resolvidos em tempos menores em um computador quântico (neste caso, o tempo de processamento aumentaria só como uma potência de N). O problema é que a construção de tais computadores enfrenta sérias limitações devido ao ruído provindo do ambiente externo aos átomos que comporiam o computador quântico. Este processo, conhecido como

“descoerência”, tornaria inviável a possibilidade de computação quântica no cérebro, como argumentou Tegmark (2000). Mesmo assim, surgiu recentemente a primeira evidência convincente de processos essencialmente quânticos em biologia, no processo de fotossíntese em certas algas (Collini *et al.*, 2010).

Outra proposta que considera que processos quânticos sejam essenciais para a consciência surgiu com o renomado neurocientista John Eccles, que defendeu que a liberação de neurotransmissores seria um processo probabilístico descrito pela física quântica. Tal liberação, chamada de “exocitose”, ocorreria com uma probabilidade relativamente baixa (de cada 5 impulsos nervosos chegando à vesícula sináptica de células piramidais do neocórtex, apenas 1 liberaria o neurotransmissor). Eccles não é um materialista, e acredita que a mente ou alma tenha existência independente do corpo. De sua perspectiva dualista, a mente poderia alterar levemente as probabilidades de exocitose, o que constituiria um mecanismo para a ação da mente sobre o cérebro. Se ele estiver correto e a exocitose só puder ser descrita pela teoria quântica, faltaria mostrar de que forma este fenômeno estaria ligado com a emergência da consciência.

Outra ideia que é frequentemente citada é a tese de que um fenômeno quântico semelhante à “condensação de Bose-Einstein” poderia ocorrer no cérebro. Este fenômeno é observado a baixas temperaturas, quando um grande número de partículas se comporta de maneira semelhante.

Herbert Fröhlich (1968) propôs um modelo biológico deste fenômeno de coerência à temperatura ambiente, envolvendo moléculas dipolares. Apesar de o modelo ser plausível, não há evidência clara de que tal fenômeno de fato ocorra em seres vivos. O que chama atenção ao modelo é a possibilidade de que a “ordem de longo alcance” desse tipo de condensado poder estar associada à capacidade de integração manifesta na consciência.

Por fim, podemos mencionar uma abordagem iniciada por físicos teóricos no final da década de 60, em torno de Hiroomi Umezawa, que procura descrever o cérebro com o ferramental da “teoria quântica de campos”. Uma suposição básica desta abordagem é que a convencional dinâmica do neurônio e da sinapse não é fundamental, e que as funções cerebrais podem ser descritas por um “campo dendrítico”. Isso se aproxima da concepção desenvolvida no início da década de 1970 pelo psicólogo Karl Pribram, de um modelo “holonômico” para o cérebro. Hoje em dia, este programa de pesquisa é desenvolvido por Giuseppe Vitiello.

Que conclusões se podem tirar dessas propostas? Nenhuma delas é bem aceita na comunidade científica, mas o problema de se a consciência é um fenômeno essencialmente quântico ainda está em aberto. Trata-se de uma questão empírica, a ser decidida a partir de experimentos e observações. Mesmo que não tenhamos muitas expectativas de que esta tese seja correta, pode-se ao menos considerar aceitável o seu uso como hipótese no argumento examinando neste trabalho.

5. EMARANHAMENTO QUÂNTICO

Consideremos agora a tese (ii) da seção 2, que defende que duas consciências podem se acoplar quanticamente, em um “estado emaranhado”, mesmo estando separadas a uma grande distância. O que significa isso? Qual a implicação disso?

“Emaranhamento” designa um estado quântico muito especial, envolvendo duas ou mais partículas, que não tem contrapartida na Física Clássica. É como se essas duas partículas mantivessem uma certa unidade, ou uma certa simetria, mesmo que separadas a grandes distâncias. Para entendermos um pouco dessa propriedade, consideremos um caso simples propiciado pela situação de “anticorrelação perfeita” (Figura 3), que surge em um caso particular de estado quântico chamado “estado de singlete”.

Na Figura 3, vemos que um par de partículas foi emitido da posição O , passa por ímãs de Stern-Gerlach orientados na *mesma* direção a , e é finalmente detectado. Na figura, a partícula da esquerda (de número 1) foi detectada em cima, fornecendo o resultado $I = +1$, enquanto que a partícula da direita (de número 2) foi detectada em baixo, com resultado $II = -1$, oposto ao da outra partícula. A anticorrelação perfeita exprime o fato de que estes resultados são sempre opostos, ou seja, o produto dos resultados é $I \cdot II = -1$. Se o resultado da esquerda tivesse sido diferente, o da direita também seria.

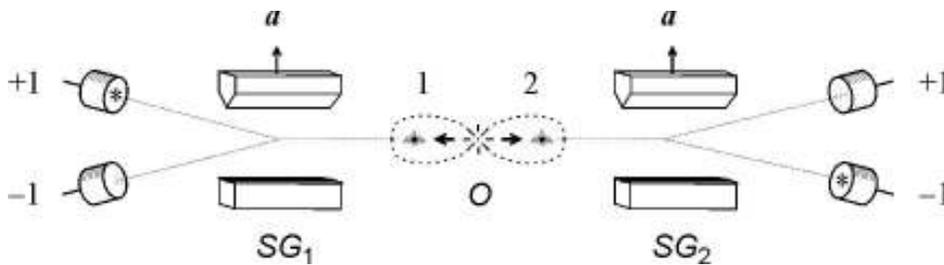


Fig. 3. Ilustração da anticorrelação perfeita exibida pelo estado de singlete.

Até aqui, este comportamento não é estranho, podendo ocorrer com partículas clássicas que obedecem a um princípio de conservação, como a conservação de momento angular (que se aplica em nosso exemplo). O que é *sui generis*, no caso quântico, é que este comportamento se verifica para *qualquer orientação a* dos aparelhos de Stern-Gerlach! Ou seja, mesmo depois que o par de partículas foi emitido em O , o cientista pode colocar rapidamente os dois aparelhos em qualquer orientação que ele queira (sendo esta orientação a mesma para o par de aparelhos), e o que se observará será a anticorrelação perfeita. (Para simplificar, estamos supondo que os detectores têm eficiência máxima).

Esta propriedade de anticorrelação perfeita para todos os ângulos não pode ser obtida classicamente. Em 1964, John Bell generalizou este resultado, mostrando que “teorias realistas locais” não conseguem dar conta dos resultados estatísticos de experimentos quânticos. Um exemplo de uma teoria *realista* seria a interpretação ondulatória apresentada na seção 3, na versão que chamamos “subjetivista”. Nesta visão realista ondulatória, a onda que descreve as duas partículas seria real e mantém certa unidade, até que uma medição seja efetuada em uma das partículas. O colapso da onda quântica que é produzido afetaria

instantaneamente a outra partícula, localizada à distância, garantindo a anticorrelação perfeita. Esta ação *não-local* precisa ocorrer porque, antes da medição, as partículas ainda não possuem um estado definido de “spin”, que determinaria em qual detector (em cima ou embaixo) elas cairão (se possuísem tal definição, o estado violaria a anticorrelação perfeita). É só no ato da medição que a “decisão” é tomada, e o resultado em um lado do equipamento precisa afetar instantaneamente o estado da outra partícula.

Este então é um exemplo de como uma interpretação realista precisa ser não-local para dar conta dos experimentos quânticos. No entanto, não é preciso que adotemos uma interpretação realista. Por exemplo, segundo a interpretação da complementaridade, de Niels Bohr, não é legítimo associar uma situação real ao estado quântico, antes de uma medição ser efetuada. Em outras palavras, não se pode dizer que o colapso da onda quântica seja um processo real; o que se pode dizer é que o colapso reflete uma mudança na informação que temos do sistema após uma medição. Para interpretações antirrealistas como essa, não ocorre ação à distância entre as partes separadas, e a descrição pode ser considerada local. Em outras palavras, a única informação relevante é macroscópica, e não pode haver transmissão instantânea de informação macroscópica, segundo a Teoria da Relatividade Restrita.

Vemos assim que, na física quântica de duas partículas, existe uma propriedade chamada “emaranhamento”, e que se adotarmos uma interpretação realista para esse sistema, somos obrigados a admitir uma ação não local. Será que semelhante situação pode ocorrer entre cérebros humanos, ou entre mentes humanas, como defende a tese (ii)? Será que isso poderia explicar as controvertidas alegações parapsicológicas de telepatia (transmissão de pensamento à distância)?

Não há a menor evidência científica de que cérebros possam se acoplar em um estado emaranhado. Mesmo que a tese (i) seja verdadeira, e que partes restritas do cérebro pudessem entrar em uma superposição quântica, não há mecanismo concebível, de acordo com a física atual, que levasse a um acoplamento e consequente emaranhamento entre cérebros de diferentes pessoas, em situações do cotidiano.

A única saída para o místico quântico seria postular que uma mente humana quântica transbordasse para fora do cérebro material, estabelecendo assim um acoplamento com outra mente, que sairia do cérebro de outra pessoa. Mas a esta altura já nos distanciamos demais da ciência aceita atualmente, e entramos no terreno da especulação metafísica mística. Sem qualquer evidência concreta de que tal fenômeno ocorra, salvo alegações controvertidas de que a telepatia foi medida em experimentos controlados, podemos considerar esta tese um dos pontos mais frágeis do argumento místico-quântico.

6. O QUE A VONTADE PODE ESCOLHER

A tese (iv) usada no argumento místico-quântico diz que, no processo de medição, a *vontade* do experimentador pode escolher se um fenômeno quântico é corpuscular ou ondulatório, mesmo depois que o objeto quântico já tenha entrado na aparelhagem experimental. Um exemplo claro disso foi explorado por John Wheeler em um interferômetro de Mach-Zehnder (Pessoa, 2006, pp. 18-22). Outro exemplo é indicado na Figura 4, um experimento de fenda dupla no regime quântico em que polarizadores ortogonais (orientados

a 0° e a 90°) são colocados nas fendas *A* e *B*. Estes polarizadores permitem que, em princípio, se saiba a trajetória dos fótons detectados, de forma que o fenômeno é corpuscular. No entanto, se um polarizador extra *C*, orientado a 45° , for colocado defronte da tela, mesmo depois de o pacote de onda passar pelas fendas *A* e *B*, os fótons detectados na tela serão associados a um fenômeno ondulatório, marcado por franjas de interferência. Diz-se que o polarizador *C* “apagou” a informação de trajetória.

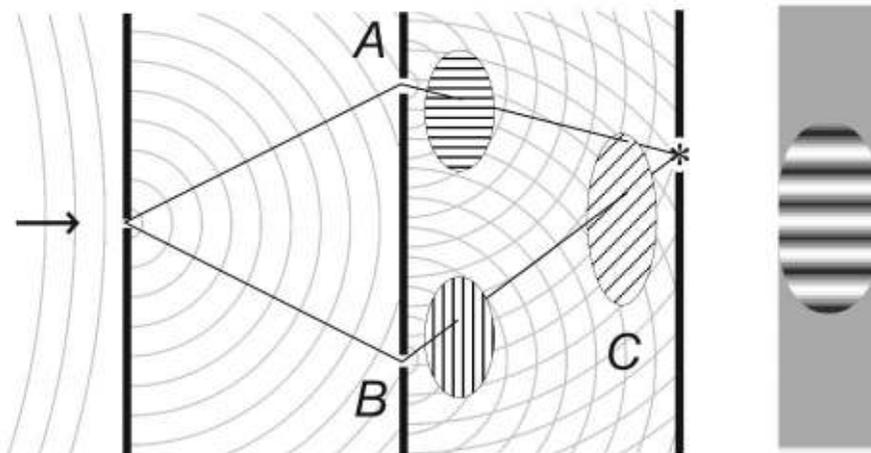


Figura 4. Experimento da fenda dupla com polarizadores.

Um tipo semelhante de “experimento de escolha demorada” foi proposto para pares de partículas emaranhadas por Carl von Weizsäcker em 1931, baseado na descrição teórica do “microscópio de raios gama”, usado por seu orientador, Werner Heisenberg, para derivar o princípio de incerteza quântico (Pessoa, 2006, pp. 88-90). Neste caso, porém, a escolha de o que medir para uma das partículas não afeta se o fenômeno associado à outra partícula é ondulatório ou corpuscular (Pessoa, 2006, pp. 200-202): ela afeta qual é o estado quântico final da outra partícula.

Um experimento semelhante ao de von Weizsäcker pode ser ilustrado com o par de partículas emaranhadas da Figura 3. Se a partícula número 1 for encontrada no detector de cima (ou de baixo), dizemos que após o experimento ela tem componente de “spin” na direção $+z$ (ou $-z$). Devido à anticorrelação perfeita, a partícula número 2 terá spin contrário, respectivamente na direção $-z$ (ou $+z$). Por outro lado, já mencionamos que a anticorrelação perfeita se mantém para todas as direções em que o aparelho é colocado.

Girando ambos os aparelhos, de forma que eles fiquem perpendiculares ao plano da página, eles estarão orientados na direção x . Os possíveis resultados para as medições de spin são análogos ao caso anterior, só que agora uma medição na partícula 1 que fornece spin $+x$ (ou $-x$) corresponderá a um estado final na partícula 2 respectivamente de $-x$ (ou $+x$).

O ponto agora é que a vontade do cientista, com relação a qual observável ele quer medir na partícula 1 (spin z ou spin x), determina instantaneamente um estado diferente para a partícula 2. Se os estados forem reais, isso corresponde a uma ação à distância, como vimos na seção anterior.

Einstein, Podolsky & Rosen (1935) exploraram exatamente esta situação, mas ao imporem uma restrição de não-localidade, concluíram que a Mecânica Quântica é uma teoria incompleta. Não seguiremos aqui esta linha de argumentação (Pessoa, 2006, pp. 205-223).

Em suma, é correto dizer que o cientista pode escolher à vontade se o estado final de uma partícula à distância terá valor bem definido de spin na direção x ou de spin na direção z . Porém, o cientista não consegue controlar o *resultado* de cada medição, ou seja, no caso de spin na direção x , se o resultado será $+x$ ou $-x$.

Em consequência disso, o cientista não pode transmitir informação instantânea para seu colega que mede, à distância, as propriedades da outra partícula. O primeiro cientista pode escolher medir spin na direção z ou na direção x , mas isso não afetará a estatística de resultados obtida pelo outro cientista. A demonstração disso é conhecida como “prova de impossibilidade de comunicação superlumínica” (ou simplesmente *no-go theorem*, em inglês) (Pessoa, 2006, pp. 292-293).

Podemos agora aplicar esta análise ao argumento místico-quântico da seção 2. Escolher se o fenômeno associado à partícula distante será corpuscular ou ondulatório, ou se o estado final terá spin z bem definido ou spin x bem definido, não pode gerar nenhuma previsão sobre o resultado da medição efetuada à distância. Analogamente, mesmo que fosse possível para duas mentes humanas se acoplarem em um estado emaranhado, e que um dos sujeitos pudesse escolher qual observável ele pretende medir, a sua decisão não poderia ser conhecida imediatamente pelo outro.

No argumento místico-quântico, a tese (v) supõe que incutir energia-chi positiva em um objeto distante seja um estado de coisas *distinguível* da situação em que uma energia-chi negativa é incutida. Mas se forem situações distinguíveis, a escolha não poderia ser controlada pela vontade de uma mente à distância, pois, senão, poder-se-ia transmitir informação sobre o estado energético escolhido de maneira instantânea, o que violaria a prova de impossibilidade de comunicação superlumínica. Além disso, se a tese (v) for elaborada como uma analogia à tese (iv), esperar-se-ia que a vontade do sujeito teria que ser exercida modificando alguma parte de um equipamento macroscópico, como um boneco de vodu, e não apenas através do pensamento.

Em suma, a tese (iv) do argumento da seção 2 é correta, mas a sua extensão à tese (v) é inaceitável. Controlar a energia-chi associada a um ambiente ou a outra pessoa resulta em consequências macroscopicamente observáveis, ao contrário do que acontece na tese (iv), em que a escolha do observável sendo medido por um cientista em uma partícula de um sistema emaranhado não pode ser descoberto pelo cientista que mede a outra partícula (mesmo que um grande número de pares de partículas seja gerado).

7. CONCLUSÃO

Neste trabalho, levando em conta o interesse que os alunos de ensino médio demonstram pela onda de espiritualidade quântica que é veiculada pela mídia, foi feita uma análise detalhada de um dos mais populares argumentos místico-quânticos, relacionado à chamada “lei da atração”. A finalidade deste estudo foi fornecer uma análise que possa ser aproveitada pelos professores, ao conduzirem sua discussão em classe sobre o assunto.

Delineamos cinco teses usadas no argumento, sendo que a única que é mais consensual é a tese (iv), sobre a liberdade do cientista de escolher se o fenômeno medido será ondulatório ou corpuscular. A tese (iii) exprime a interpretação subjetivista, que é defensável mas não é hegemônica. Já a tese (i) é uma afirmação empírica que ainda não está decidida, sobre a relação entre o cérebro humano e a física quântica. Mas o que torna o argumento insustentável são as teses (ii) e (v), que afirmam que as mentes de seres humanos podem se acoplar quanticamente entre si e com objetos macroscópicos, e que seria possível controlar o resultado de uma medição quântica envolvendo tal situação.

Elementos básicos de Física Quântica podem ser ensinados no ensino médio (um artigo recente, com boa bibliografia sobre o assunto, é Pereira; Ostermann & Cavalcanti, 2009), e alguns desses pontos apareceram no presente texto. O ponto mais difícil é explicar sistemas emaranhados de duas partículas. A tentativa de explicar tais sistemas se justifica não só por eles estarem presentes nas teses místico-quânticas, mas também por estarem presente nas ligações químicas, em átomos com mais de um elétron, na computação quântica, e em discussões de filosofia quântica.

Ao buscar ensinar rudimentos conceituais da física quântica, defende-se que um espaço maior seja dado no Ensino Médio ao ensino conceitual de física. Além disso, o exame do argumento místico-quântico leva a uma discussão importante sobre as oposições entre o discurso científico e o discurso místico e religioso. Uma posição plausível a ser adotada pelo professor é que não há nada de errado em ter uma visão espiritualista do mundo, mas tal posição deve ser conciliadora (e não desafiadora) com relação à ciência estabelecida (o que Sepulveda & El-Hani, 2004, p. 153, chamam de “uma visão compatível com a ciência”).

Por fim, a presente discussão toca na importante questão da pseudociência, exemplificada pelos experimentos de cristalização emotiva da água, de Masaru Emoto, que aparece no filme *Quem Somos Nós?* (Arntz; Chasse & Vicente, 2007, pp. 92-94). Com relação à pseudociência, Venezuela (2008) encontrou que basta apresentar as duas visões antagônicas (ciência versus parapsicologia, etc.) em sala de aula, com textos defendendo cada uma das visões (sem o professor precisar tomar partido), para aumentar a postura crítica dos alunos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNTZ, William; CHASSE, Betsy; VICENTE, Mark. *Quem somos nós?* Rio de Janeiro: Ediouro, 2007.
- ATMANSPACHER, Harald. Quantum Approaches to Consciousness. In: ZALTA, Edward N. (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2011 Edition). Disponível em: <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2011/entries/qt-consciousness/>>. Acesso em 25 maio 2013.
- BYRNE, Rhonda. *O segredo*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2007.
- CAPRA, Fritjof. *O tao da física* [1975]. São Paulo: Cultrix, 1983.
- COLLINI, E.; WONG, C.Y.; WILK, K.E.; CURMI, P.M.G.; BRUMER, P.; SCHOLE, G.D. Coherently wired light-harvesting in photosynthetic marine algae at ambient temperature. *Nature* **463** (7281): 644-47, 2010.

- EINSTEIN, Albert; PODOLSKY, Boris; ROSEN, Nathan. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review* **47**: 777-80, 1935. Tradução para o português em *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **2**: 90-96, 1981.
- FRÖHLICH, Herbert. Long-range coherence and energy storage in biological systems. *International Journal of Quantum Chemistry* **2**: 641-49, 1968.
- FOLSCHIED, Dominique; WUNENBURGER, Jean-Jacques. *Metodologia filosófica*. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2002.
- GOSWAMI, Amit. *A física da alma*. São Paulo: Aleph, 2005.
- LEANE, Elizabeth. *Reading popular physics*. Hampshire: Ashgate, 2007.
- LEE, Paulo. *Ciências versus pseudociências*. Pinhais: Expoente, 2003.
- LONDON, Fritz W.; BAUER, Edmond. The theory of observation in quantum mechanics [1939]. Pp. 217-259, in: WHEELER, John A. & ZUREK, Wojciech H. (eds.). *Quantum theory and measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1983.
- MARIN, Juan Miguel. "Mysticism" in quantum mechanics: the forgotten controversy. *European Journal of Physics* **30**: 807-22, 2009.
- PEREIRA, Alexsandro; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio J.H. On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. *Physics Education* **44**: 281-91, 2009.
- PESSOA JR., Osvaldo. A física quântica seria necessária para explicar a consciência? Pp. 184-189, in: del Nero, H. S. (ed.). *Questões metodológicas em ciências cognitivas*. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados – USP, 1994.
- . O sujeito na física quântica. Pp. 157-196, in: Oliveira, E.C. (ed.). *Epistemologia, lógica e filosofia da linguagem: ensaios de filosofia contemporânea*. Feira de Santana: Núcleo de Estudos Filosóficos – UEFS, 2001.
- . *Conceitos de física quântica*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- . Redução de estado na física quântica: amplificação ou consciência? Pp. 451-460, in: Lorenzano, P.; Miguel, H. (orgs.). *Filosofia e historia de la ciencia en el cono sur*. Buenos Aires: AFHIC-Educando, 2007. 2 vols.
- . O fenômeno cultural do misticismo quântico. Pp. 283-304, in: Freire Jr., O.; Pessoa Jr., O.; Bromberg, J.L. (orgs.). *Teoria quântica: estudos históricos e implicações culturais*. São Paulo: Livraria da Física, 2010 (a).
- . As origens hippie do misticismo quântico. *Vya Estelar*, 2010 (b). Disponível em: <http://www2.uol.com.br/vyaestelar/misticismo_quantico.htm>. Acesso em: 25 maio 2013.
- . Misticismo ou espiritualidade quântica? *Vya Estelar*, 2010 (c). Disponível em: <http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_misticismo.htm>. Acesso em: 25 maio 2013.
- SEPULVEDA, Claudia; EL-HANI, Charbel N. Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em ciências biológicas. *Investigações em Ensino de Ciências* **9**: 137-175, 2004.
- STAPP, Henry. *Mindful universe*. New York: Springer, 2007.
- TEGMARK, Max. Importance of quantum decoherence in brain processes. *Physical Review E* **61**: 4194-4206, 2000.

VENEZUELA, Osvaldo. *Demarcando ciências e pseudociências para alunos do ensino médio*. Dissertação de mestrado em Ensino de Ciências, Modalidade Física. São Paulo: Instituto de Física da USP, 2008.

VIESES COGNITIVOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS EPISTEMOLÓGICAS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Renato Rodrigues Kinouchi *
Plínio Zornoff Táboas **

Resumo: *O raciocínio lógico-formal costuma ser visto como uma capacidade cognitiva importante para a construção do conhecimento científico. Entretanto, é curioso notar que os currículos escolares, inclusive os acadêmicos, não costumam contemplar conteúdos específicos de lógica. Na realidade, parece haver a opinião tácita de que o aprendizado de matemática e das ciências naturais forneceria, implicitamente, os princípios básicos do raciocínio lógico. Nosso trabalho enfoca as dificuldades encontradas nos raciocínios condicionais de tipo “se... então...” que dão origem às falácias dedutivas e ao viés de confirmação. De fato, há inúmeros resultados que mostram como humanos tendem a adotar espontaneamente procedimentos confirmatórios dedutivamente inválidos. Tais resultados têm consequências significativas nos campos da teoria do conhecimento e do ensino de ciências. Em nosso entender, uma das tarefas do ensino de lógica pode consistir exatamente em fazer com que o aprendiz reconheça os vieses cognitivos e passe raciocinar nos moldes da lógica científica.*

Palavras-chave: *vieses cognitivos; teste de Wason; falácias dedutivas; ensino de lógica*

COGNITIVE BIASES AND THEIR EPISTEMOLOGICAL CONSEQUENCES FOR SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHING

Abstract: *The logical thinking is often seen as a very important cognitive ability for the construction of scientific knowledge. However, it is interesting to note that several curricula, including academics, do not usually include specific contents of logic. In fact, there seems to be a tacit opinion that the learning of mathematics and natural sciences provides, implicitly, the basic principles of logical reasoning. Our work focuses on the difficulties of conditional reasoning “if ... then ...” that give rise to the fallacy of confirmation bias. In fact, numerous researches show how humans tend to adopt spontaneously invalid confirmatory procedures. These results have significant consequences in the fields of theory of knowledge and science teaching. In our opinion, one of the tasks of logic teaching consists precisely in making the students recognize the cognitive biases, in order to think along the lines of scientific logic.*

Key-words: *cognitive biases; Wason selection task; deductive fallacies; logic teaching*

* Universidade Federal do ABC. Endereço para correspondência: Rua Comendador Freixo, 68. CEP 11390-160. São Vicente – São Paulo – Brasil. Email: renato.kinouchi@ufabc.edu.br

** Plínio Zornoff Táboas. Universidade Federal do ABC. Endereço para correspondência: Rua Catequese, 242. CEP 09090-400. Santo André – São Paulo – Brasil. Email: plinio.taboas@ufabc.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O raciocínio lógico-formal costuma ser visto como uma capacidade cognitiva importante para a aquisição de conhecimento em geral e de conhecimento científico em particular. Entretanto, é curioso notar que os currículos escolares, inclusive os de cursos superiores, não costumam contemplar conteúdos específicos de lógica. Na verdade, parece haver a opinião tácita de que o aprendizado de matemática e das ciências naturais forneceria, implicitamente, os princípios básicos do raciocínio lógico. Entretanto, qualquer professor que experimente introduzir conceitos de lógica em suas aulas perceberá que a opinião acima mencionada não se sustenta. A primeira dificuldade aparece logo na distinção básica entre os conceitos de verdade e de validade: o primeiro remetendo à semântica das proposições, e o segundo relativo à forma de encadeamento delas, no domínio da sintaxe. Para a maioria dos alunos, a verdade das proposições é sempre fator preponderante na avaliação de um argumento, de modo que eles mal percebem, ou sequer consideram, a importância do arranjo sintático, o qual constitui a condição de validade. Manuais introdutórios (Copi, 1974; Mortari, 2001) precisam salientar fortemente esse ponto desde o início; caso contrário, não se pode ter um entendimento satisfatório dos conceitos de dedução e validade formal (Kinouchi, 2006a; 2006b).

Muitas das dificuldades encontradas no ensino de lógica envolvem a distinção entre a psicologia do raciocínio e a lógica propriamente dita. Tradicionalmente, a psicologia do raciocínio investiga o raciocínio *tal como ele é* ou como ele efetivamente acontece, enquanto que a lógica se ocupa com o raciocínio *tal como ele deve ser*, posto que os raciocínios logicamente corretos devem satisfazer certos critérios normativos¹. Neste ínterim, cabe a pergunta: mas o que são esses critérios normativos? Afinal de contas, o que é que os autores entendem por “lógica”? Neste trabalho adotamos a noção de que a lógica consiste em convenções socialmente partilhadas, todavia são convenções particularmente *úteis* por manterem uma relação de consistência interna. Entendemos também que as aplicações da lógica se dão sempre em um contexto, o qual conta com diversos subcontextos — tais como a silogística, o cálculo de proposicional, o cálculo de predicados, as lógicas modais, o cálculo probabilístico e as lógicas indutivas, lógicas para-consistentes etc. — e que aderir às convenções de algum desses subcontextos é uma escolha pragmática (Costa, 1993).

Diga-se também, de antemão, que os autores não nutrem a pretensão de oferecer um argumento conclusivo em prol do ensino de lógica como sendo *a* maneira de aprimorar a educação em geral. É possível defender, com muita propriedade, que uma formação verdadeiramente humanista deveria privilegiar o desenvolvimento da cidadania, da criatividade, da autonomia intelectual do aprendiz etc., e nisso tudo a lógica pode ter pouco a contribuir. Entretanto, no que diz respeito ao ensino de ciências, acreditamos que lições básicas de lógica formal, principalmente aquelas que envolvam os chamados vieses

¹ De fato, a interface entre essas duas disciplinas foi amplamente explorada por inúmeros filósofos e um estudo exaustivo da questão remontaria à própria definição-padrão de conhecimento como *crença verdadeira justificada*, dado que ela possui tanto uma dimensão psicológica — pois uma crença verdadeira é um juízo a respeito da boa correspondência entre a representação subjetiva e o objeto em si — como também possui uma dimensão lógica — já que não basta que a representação corresponda ao objeto acidentalmente, pois deve também estar justificada por alguma forma de raciocínio válido.

cognitivos, podem funcionar em sala de aula como um elemento motivador, particularmente no que concerne ao entendimento da natureza formal do método hipotético-dedutivo e das provas indiretas. Dentro desse contexto muito mais modesto, acreditamos que o ensino de lógica repercute positivamente no ensino de ciências e matemática.

2. RACIOCÍNIO E VIESES COGNITIVOS: OS TESTES DE SELEÇÃO DE WASON

No campo da psicologia do raciocínio o autor que obteve maior notoriedade foi sem dúvida Jean Piaget, cuja epistemologia genética (Piaget 1958; 1970; 1976; Piaget & Garcia, 1987; Inhelder & Piaget, 1976) pode ser vista como uma investigação empírica e sistemática da relação entre a psicologia do raciocínio e o desenvolvimento de esquemas lógicos construídos por meio dos processos de assimilação e acomodação. Um dos méritos da teoria piagetiana em particular, e do construtivismo em geral, foi mostrar que *erros* de raciocínio, na maioria das vezes, se devem ao estágio de desenvolvimento cognitivo dos sujeitos. Abordagens construtivistas permitiram então investigar a gênese dos esquemas de raciocínios, dos mais concretos até os mais abstratos, com enfoque nas *mudanças conceituais* — em seus variados sentidos — que acontecem durante a aprendizagem. Em linhas gerais, Piaget se mostrava otimista com relação ao desenvolvimento de competências cognitivas no que diz respeito à aquisição do formalismo lógico (Inhelder & Piaget, 1976; Piaget, 1976), pois, segundo ele, o próprio processo de equilíbrio tenderia ao desenvolvimento de relações reversíveis, de modo que os processos inferenciais superiores tenderiam a corresponder com o sistema de relações da lógica clássica. “Em resumo, enquanto a lógica vê nas operações transformações formais cuja validade repousa em axiomas, a psicossociologia as considera como ações interiorizadas e susceptíveis de coordenação equilibrada (composição reversível), ao mesmo tempo no seio dos pensamentos individuais e nas permutas entre indivíduos” (Piaget, 1976, p. 11).

É em contraposição a esse tipo de otimismo piagetiano que podemos avaliar a obra do psicólogo Peter Cathcart Wason (1966; 1968), cujos trabalhos definitivamente mostram que mesmo pessoas adultas e escolarizadas têm dificuldades com raciocínio formal. Com efeito, o procedimento experimental utilizado por Wason continua suscitando controvérsias na área por mais de quarenta anos. Nesse experimento, quatro cartões são apresentados ao entrevistado (ver figura abaixo). A primeira informação fornecida é que cada cartão tem uma letra de um lado e um número em seu verso. A seguir, estipula-se uma regra condicional e pede-se ao entrevistado que investigue se ela está sendo violada. A regra condicional é a seguinte:

Se um cartão tem um **D** de um lado, então ele deve ter um número **3** no verso. A questão é: Quantos e quais cartões é preciso virar (inspecionar) para saber se a regra está sendo violada?

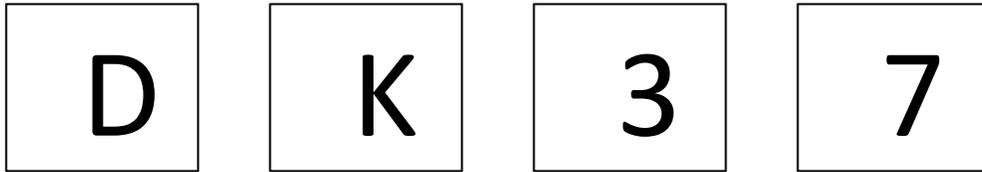


Fig. 1. Teste de Seleção de Wason.

O Teste de Wason enfoca a relação condicional “se... então” e os tipos de inferências dela decorrentes. Por convenção lógica, a regra é violada quando não se preserva a noção de implicação entre o antecedente (D) e o conseqüente (3), ou seja, somente quando o antecedente é verdadeiro enquanto o conseqüente é falso.

A maneira de resolver o problema é escolher somente os cartões D e 7. A escolha do cartão D consiste no *Modus Ponens* (se D, então 3; dado D, logo 3), e haverá violação da regra se não houver um 3 no verso. A escolha do cartão 7 consiste no *Modus Tollens* (se D, então 3; dado não-3, então não-D), e haverá violação da regra se virarmos o 7 e encontrarmos um D. A escolha do cartão 3 consiste na falácia da *Afirmação do Conseqüente*, (se D, então 3; dado 3, logo D), pois nada impede que haja qualquer letra no verso (notar que D implicar 3 não significa que 3 implica D). Finalmente, a escolha do cartão K consiste na falácia da *Negação do Antecedente* (se D, então 3; dado não-D, então não-3).

Numerosas investigações (Dias, 2000; Dias & Harris, 1988; Inglis & Simpson, 2004; Shapiro & O’Brien, 1970; Taplin & Staudenmayer, 1973), com sujeitos de diversas faixas etárias e diversos graus de instrução, confirmaram que a forma válida *Modus Ponens* (MP) não apresenta dificuldades, sendo que seu acerto gira em torno de 90% dos testes. Os estudos também mostram que a forma válida *Modus Tollens* (MT) costuma ser mais difícil de assimilar, com percentual de acerto de 60%. Entretanto, o dado mais importante é que a forma inválida *Afirmação do Conseqüente* (AC) é erroneamente julgada como correta por 70% dos sujeitos. Ou seja, o número de pessoas que cometem a falácia AC é maior do que o número de pessoas que percebem a validade de MT. Com relação à *Negação do Antecedente* (NA), poucas pessoas incidem nessa falácia, um percentual que costuma ficar abaixo dos 30%. Esses dados têm sido apresentados como evidência de que as pessoas apresentam dificuldade com formalismo dedutivo, especialmente quando estavam envolvidos procedimentos de refutação (Wason & Johnson-Laird, 1972; Johnson-Laird & Byrne, 1991).

Questões muita assemelhadas se encontravam presentes no campo de pesquisas conhecido como “heurísticas e vieses”. Em um artigo publicado na prestigiosa *Science*, tendo por título “*Judgment under uncertainty: heuristics and biases*”, Tversky & Kahnemann (1974) mostraram como humanos utilizam estratégias heurísticas para enfrentar problemas lógicos que requereriam um grande esforço de cálculo. No caso do Teste de Wason, os sujeitos apresentariam um *viés de confirmação* que seria responsável pela alta freqüência da falácia AC e baixa freqüência da escolha MT. A questão motivou o aparecimento de diversas teorias para explicar a baixa *performance* dos sujeitos, dentre as quais destacamos: a teoria da “Lógica Mental”, a teoria dos “Modelos Mentais”, a teoria dos “Esquemas Pragmáticos” e mais recentemente a teoria da “Racionalidade Bayesiana”.

Segundo os defensores da teoria da “Lógica Mental” (Braine, 1978; Braine & O’Brien 1991, 1998; O’Brien; Dias; Roazzi & Braine, 1998), os sujeitos exibem raciocínio lógico quando lidam com proposições compostas presentes na linguagem, de maneira que devem haver regras que governam o raciocínio lógico, embora elas às vezes possam estar em conflito aparente com a lógica propriamente dita. Por outro lado, Johnson-Laird (1983) principal expoente dos Modelos Mentais, argumenta que a teoria da Lógica Mental simplesmente não corresponde à realidade da psicologia do raciocínio. Com efeito, em uma série de investigações (Johnson-Laird, 1983; 2001; Johnson-Laird & Byrne, 1991) sustentou que, na prática, os sujeitos raciocinam por meio de modelos (*mental models*) que podem, ou não, coincidir com a lógica formal, dependendo do conteúdo dos enunciados e do contexto fornecido no teste. De acordo com sua teoria, os sujeitos constroem modelos a partir das premissas e tiram inferências levando em consideração aspectos semânticos. Em uma terceira frente de investigação, Cheng & Holyoak (1985, 1989) propuseram a noção de que os sujeitos possuíam esquemas pragmáticos de raciocínio: “conjuntos de regras altamente generalizadas e abstratas, mas ainda assim definidas com relação a classes de objetivos e tipos de relações” (Cheng *et al.*, 1986, p. 294). Dois principais esquemas de ação foram identificados, a saber: o esquema de permissão do tipo *se uma ação A está sendo efetuada, então determinada pré-condição B foi satisfeita*; e o esquema de obrigação do tipo *se a condição A ocorrer, então é obrigatório a ocorrência de B*. De acordo com a teoria dos Esquemas Pragmáticos, quando o teste de Wason é efetuado de maneira tal que induz ao uso de esquema de permissão os sujeitos são plenamente capazes de fornecer as respostas corretas (Cheng & Holyoak, 1985; Cheng *et al.*, 1986).

Para nossos propósitos é importante analisar uma linha de pesquisa que ganhou recente destaque ao defender que os sujeitos se inspiram em um modelo bayesiano de inferência (Oaksford & Charter, 1994; 1996; 2007). Através de uma meta-análise estatística de 34 importantes estudos publicados sobre testes de Wason, os pesquisadores Oaksford & Charter (1994) conseguiram encontrar um padrão estatístico que se ajusta aos dados aparentemente contraditórios. Essencialmente, Oaksford & Charter (1994) mostraram que quando se calcula o ganho informacional e a diminuição de incerteza oferecida por cada opção de escolha, os padrões de resposta se ajustam ao cálculo da probabilidade bayesiana (isto é, probabilidade em função da evidência) dessas escolhas. Para dar um exemplo, em um teste padrão — se p então q — a carta que representa a falácia da Afirmção do Consequente (q), embora não seja dedutivamente válida, é mais informativa (diminui mais a incerteza) do que a carta que representa o Modus Tollens ($\text{não-}q$), porque o conjunto $\text{não-}q$ é complementar e bem maior do que o exemplar q disponível para ser inspecionado. Por outro lado, para testes com condicionais que contenham negação — se p então $\text{não-}q$ — a carta q continua oferecendo informação e, nesse caso, coincide com o processo dedutivo MT. Oaksford e Charter (1994) calcularam as expectativas de diminuição de incerteza para os testes e em todas estas condições seu modelo de tratamento estatístico se ajustou aos resultados. De certa maneira, tais pesquisadores conseguiram *interpol*ar os vários achados anteriores mediante sua meta-análise estatística.

Até esse ponto — isto é, no domínio da análise estatística — os trabalhos de Oaksford & Charter (1994; 1996; 2007) são notáveis, e as considerações epistemológicas retiradas merecem exame atento. Ocorre que o passo adicional da teoria consiste em dizer que seus resultados efetivamente

provam que os sujeitos tomam o teste de Wason como uma tarefa indutiva, e que *pensam* bayesianamente, calculando as expectativas associadas a cada escolha. O problema envolvido consiste na confusão entre o comportamento estatístico de uma população com o comportamento individual, pois o comportamento da população não necessariamente é um agregado de comportamentos individuais idênticos. O que Oaksford e Chater (1994; 1996; 2007) mostraram é que as frequências médias se distribuem populacionalmente de uma maneira que se ajusta ao seu modelo; mas dizer que isso é consequência do fato de que cada indivíduo pensa segundo o modelo não é necessariamente verdadeiro.

Em resumo, durante as últimas quatro décadas as pesquisas envolvendo vieses cognitivos, em suas mais variadas formas, têm problematizado o *otimismo* piagetiano segundo o qual o desenvolvimento cognitivo tende ao estabelecimento apropriado das relações lógico-formais. Com efeito, ao propor que o desenvolvimento cognitivo tende a estabelecer relações reversíveis, e que tais relações são as próprias da lógica, Piaget em alguma medida esmaeceu a oposição entre a psicologia do raciocínio e a lógica, entre o pensamento *tal como ele acontece* e o pensamento *tal como ele deve ser*. Mas os resultados empíricos dos testes de Wason, independentemente das explicações evocadas pelas diversas linhas teóricas acima mencionadas, fomentam uma boa dose de ceticismo, pois ao mostrar que o desempenho dos sujeitos *difere* daquele considerado logicamente correto, Wason voltou a dissociar aqueles dois domínios. Mas vale ressaltar que isso não significa que o raciocínio dos sujeitos não tenha uma “razão”, um determinado funcionamento que merece ser investigado pela psicologia; isso apenas significa que tal funcionamento não se identifica com as convenções adotadas na lógica clássica. Nesta questão específica valeria o dito aristotélico, ora parafraseado: *Amicus Piaget, sed magis amica veritas*.

3. DUAS APLICAÇÕES EM SALA DE AULA

Em nosso entender, a discussão sobre os vieses cognitivos pode ser utilizada no ensino de ciências e matemática, especialmente por motivar o estudo de processos inferenciais importantes para a produção de conhecimento científico. Para tanto, os autores costumam iniciar o processo de aprendizagem aplicando um teste de Wason em sala de aula. Em virtude da aparente simplicidade do teste, os aprendizes se engajam na atividade com certa confiança, mas, como é de se esperar, o desempenho da classe costuma ser baixo e isso acaba gerando certo desconforto. Todavia, é exatamente a partir desse ponto que se pode explicar detalhadamente a validade do *Modus Ponens* e do *Modus Tollens*, bem como a invalidade das falácias da afirmação do consequente e da negação do antecedente.

Neste íterim, a primeira aplicação interessante consiste no fato de que a inferência *Modus Tollens* é análoga aos argumentos que envolvem provas por contradição. Simplificadamente, o esquema lógico consiste no seguinte: “Um conjunto de premissas P implica uma conclusão Q; mas a conclusão Q é uma contradição (sempre falsa); portanto pelo menos uma das premissas do conjunto P é falsa”. Conforme assinala Susanne Epp, argumentos que utilizam esse tipo de raciocínio, ou ainda outros tipos de provas indiretas, costumam ser de difícil compreensão:

Os trabalhos de Thompson (1996) e Goetting (1995, p. 142–148) indicam que demonstrações

que requerem prova por contradição ou prova por contraposição são fontes particulares de dificuldades, mesmo para estudantes que tiveram cursos avançados de matemática. Fishbein e Kedem (1982) e Vinner (1983) sugere que mesmo quando os estudantes parecem entender uma prova correta para uma demonstração, eles não percebem que isso cessa a necessidade por verificações ulteriores. (Epp, 2003, p. 888)

Ao assinalar as dificuldades envolvidas nas provas indiretas, que atingem inclusive estudantes mais avançados, nós procuramos motivar os alunos a considerar os aspectos formais de tal procedimento de inferência. A partir disso, examinamos diversos argumentos, em linguagem natural, baseados em provas indiretas, como maneira de tentar fixar o esquema lógico subjacente.

Uma segunda aplicação dos testes de Wason envolve a elucidação do caráter falacioso do viés de confirmação (isto é, a falácia da afirmação do consequente). Com efeito, uma das mais celebradas visões a respeito da atividade científica propõe que as pesquisas experimentais devem pautar-se pelo método hipotético-dedutivo (Popper, 1992), que simplificada consiste em:

A hipótese H implica a observação O;
 Não ocorre a observação O;
 Logo, a hipótese H deve ser falsa.²

Ocorre que o procedimento de falsificação de hipóteses é uma forma de *Modus Tollens* e, como visto na seção anterior, os testes de Wason mostram que nós humanos apresentamos dificuldades com tal forma de raciocínio. No mais das vezes recaímos no viés de confirmação, e isso sugere que a visão falsificacionista de Popper é um tanto contraintuitiva. Por sinal, em artigo de revisão Nickerson sumariza o ponto ao mostrar que “há pouca evidência de que os cientistas trabalhem dessa maneira (falsificacionista). Bem ao contrário, eles freqüentemente anseiam por evidências que dêem suporte à hipótese, muito mais do que por evidências que mostrariam a falsidade dela” (Nickerson, 1998, p. 207). Tendo esse contexto como pano de fundo, discutimos de maneira mais profunda o fato de que um mesmo consequente pode derivar de diversos antecedentes. Um exemplo em linguagem natural costuma funcionar bastante bem. Considere-se o argumento:

Gripe implica em febre e dores no corpo;
 Estou com febre e dores no corpo;
 Logo, estou com gripe.

Ora, embora gripe implique em febre e dores no corpo, isso não significa que tais sintomas são sempre causados por gripe, pois podem ser decorrentes de dengue, por exemplo. Em virtude da maioria dos alunos já terem ouvido falar que determinados medicamentos para gripe podem ser bastante prejudiciais no caso de dengue, eles rapidamente se dão conta da falácia envolvida. Com isso procuramos mostrar que muito embora a visão popperiana possa ser contraintuitiva, na realidade ela é logicamente irretorquível, pois é dedutivamente válida.

² Compare com a seguinte situação no teste de Wason: a regra fornecida é “D em uma face, implica em 3 no verso”. Para efetuar o *Modus Tollens*, devemos virar a carta com outro número qualquer, inferindo que “não-3” implica “não-D”. Formalmente, isso é equivalente a situação em que “Se H implica O”, então “não-O” implica “não-H”.

Por outro lado, os procedimentos confirmatórios (isto é, a busca por instâncias que confirmem uma hipótese) *parecem* ser a maneira mais correta de investigação, entretanto isso é formalmente inválido.

4. AFINAL, LÓGICA PARA QUÊ?

Será mesmo que o ensino de lógica realmente presta algum auxílio na educação em geral? Além disso, tendo em vista que o raciocínio científico envolve outras habilidades além das puramente formais, será que o ensino de lógica realmente ajudaria no ensino de ciências?

O primeiro dos questionamentos acima colocados diz respeito à possível transferência de aprendizagem dos conteúdos formais da lógica para outros contextos e domínios. Caso isso se observasse amplamente, estaríamos seguros para defender que o ensino de lógica seria muito desejável, pois funcionaria como uma espécie de potencializador do raciocínio dos aprendizes para as mais variadas situações de aprendizagem. Por outro lado, caso os conteúdos ensinados não se transfiram, pode-se argumentar no sentido da inutilidade da lógica para o ensino, o que a tornaria pouco desejável no contexto educacional.

Ocorre que o conceito de transferência de aprendizagem envolve a distinção entre transferência próxima e distante (Perkins & Salomon, 1992). No primeiro caso (*near transfer*), que ocorre com maior frequência, a transferência se dá entre contextos próximos, exigindo apenas a transposição de um esquema de raciocínio para um domínio adjacente; já para o segundo caso (*far transfer*), que ocorre muito mais raramente, a transferência se dá entre domínios de aplicação bem afastados. No que diz respeito à lógica, seu ensino exibe alguma transferência para as áreas da prova matemática (Epp, 2003), da programação de computadores (Goldson; Reeves & Bornat, 1993) e pode inclusive auxiliar o processo de alfabetização (Camargo, 2007; Furth, 1972). Para contextos mais remotos costuma haver pouca transferência, todavia isso não ocorre apenas com conteúdos de lógica, mas também com várias outras disciplinas (Perkins & Salomon, 1992). Aliás, há que se perguntar se a transferência do formalismo lógico para o cotidiano seria realmente desejável, ou se não seria, na realidade, até disfuncional (um tipo de transferência negativa), pois o mundo *vivido* certamente guarda pouca semelhança com o mundo das relações formais.

Prevalecendo essa visão, o ensino de lógica bem pode ficar restrito apenas aos cursos especializados. Mas o que se perde com isso, em nosso entender, é a percepção de que a lógica tem um valor muito significativo exatamente por ser um jogo de linguagem (Wittgenstein, 1989) convencionalmente praticado no âmbito da atividade científica. Nisso reside a resposta para a segunda questão acima colocada. É bem provável que a lógica não estimule outras habilidades próprias do raciocínio científico, entretanto seu formalismo engendra, por assim dizer, as regras do jogo. A título de comparação, considere-se a prática do jogo de xadrez. Certamente o xadrez envolve outras habilidades, tais como memória e criatividade na resolução de problemas, mas jogar conforme as regras sempre será condição *sine qua non* de qualquer coisa que se possa chamar de partida de xadrez. De maneira análoga, a lógica envolve as regras básicas dos processos inferenciais permitidos quando se deseja *provar* alguma afirmação, e infelizmente pode não haver outra opção de aprendizagem dessas regras senão praticando-as, estudando lógica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAINE, Martin. On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic. *Psychological Review* **85**: 1-21, 1978.
- BRAINE, Martin; O'BRIEN, David. A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. *Psychology Review* **98**: 182-203, 1991.
- . A theory of if: A lexical entry, reasoning program, and pragmatic principles. Pp. 199-244, in, BRAINE, Martin; O'BRIEN, David (eds.). *Mental logic*. New Jersey: Mahwah, 1998.
- CAMARGO, Dair. Lógica simbólica e alfabetização. *Educação: Teoria e Prática* **16** (28): 67-77, 2007.
- CHENG, Patricia; HOLYOAK, Keith. Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology* **17**: 391-416, 1985.
- . On the natural selection of reasoning theories. *Cognition* **31** (3): 285-313, 1989.
- CHENG, Patricia; HOLYOAK, Keith; NISBETT, Richard; OLIVER, Lindsay. Pragmatic versus syntactic approaches to training deductive reasoning. *Cognitive Psychology* **18**: 293-328, 1986.
- COPI, Irving. *Introdução à Lógica*. Trad. Álvaro Cabral. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1974.
- COSTA, Newton da. *Lógica indutiva e probabilidade*. São Paulo: EDUSP, 1993.
- DIAS, Maria da Graça. Dificuldades com inferências inválidas entre adultos: tentativa de superação. *Psicologia: Reflexão e Crítica* **13** (3): 391-397, 2000.
- DIAS, Maria da Graça; HARRIS, Paul. The effect of make-believe play on deductive reasoning. *British Journal of Developmental Psychology* **6**: 207-221, 1988.
- EPP, Susanna. The role of logic in teaching proof. *American Mathematical Monthly* **110**: 886-899, 2003.
- FISHBEIN, Efraim; KEDEM, Irith. Proof and certitude in the development of Mathematical thinking. In: *Proceedings of 6th Conference of the Psychology of Mathematics Education*. Antwerp: Universitaire Instelling, 1982. P. 128-131.
- FURTH, Hans. *Piaget na sala de aula*. São Paulo: Forense, 1972.
- GOETTING, Mary. *The College Student's Understanding of Mathematical Proof*. Maryland, 1995. Dissertation (Doctoral in Mathematics) – College of Computer, Mathematical and Natural Sciences. University of Maryland, 1995.
- GOLDSON, Doug; REEVES, Steve; BORNAT, Richard. A review of several programs for the teaching of logic. *The Computer Journal* **36** (4): 373-386, 1993.
- INGLIS, Matthew; SIMPSON, Adrian. Mathematicians and the Selection Task. *Proceedings of the 28th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* **3**: 89-96, 2004.
- INHELDER, Bärbel; PIAGET, Jean. *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. São Paulo: Pioneira, 1976.
- JOHNSON-LAIRD, Philip. *Mental models: towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press, 1983.
- . Mental models and deduction. *Trends in Cognitive Science* **5** (10): 434-442, 2001.
- JOHNSON-LAIRD, Philip; BYRNE, Ruth. Mental models or formal rules? *Behavioral and Brain Sciences* **16**: 368-380, 1991.

- KINOUCI, Renato. Dizer a verdade não basta. *Revista Discutindo Filosofia* **1** (3): 20-21, 2006 (a).
- . Os caminhos do raciocínio. *Revista Discutindo Filosofia* **1** (4): 40-43, 2006 (b).
- MORTARI, Cezar. *Introdução à Lógica*. São Paulo: UNESP, 2001.
- NICKERSON, Raymond. Confirmation bias: an ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology* **2** (2): 175-220, 1998.
- O'BRIEN, David; DIAS, Maria da Graça; ROAZZI, Antônio; BRAINE, Martin. Conditional reasoning: The logic of supposition and children's understanding of pretense. Pp. 447-457, in: BRAINE, Martin; O'BRIEN, David (eds.). *Mental logic*. New Jersey: Mahwah, 1998.
- OAKSFORD, Mike; CHATER, Nick. A rational analysis of the selection task as optimal data selection. *Psychological Review* **101** (4): 608-631, 1994.
- . Rational explanation of the selection task. *Psychological Review* **103** (2): 381- 391, 1996.
- . *Bayesian Rationality: the probabilistic approach to human reasoning*. Oxford: Oxford University Press, 2007.
- PERKINS, David; SALOMON, Graviel. Transfer of Learning. Pp. 2-13, in: HUSÉN, Torsten; POSTLETHWAITE, Neville. *The International Encyclopedia of Education*. New York: Elsevier Science, 1992. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.24.369&rep=rep1&type=pdf>> Acesso em: 21 junho 2013.
- PIAGET, Jean. *A psicologia da inteligência*. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1958.
- . *O Nascimento da Inteligência na Criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1970.
- . *Ensaio de Lógica Operatória*. São Paulo: Edusp, 1976.
- PIAGET, Jean; GARCIA, Rolando. *Psicogênese e história das ciências*. Lisboa: Dom Quixote, 1987.
- POPPER, Karl. *Lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Pensamento-Cultrix, 1992.
- SHAPIRO, Bernard; O'BRIEN, Thomas. Logical thinking in children ages six through thirteen. *Child Development* **41**: 823-829, 1970.
- TAPLIN, John; STAUDENMAYER, Hermann. Interpretation of abstract conditional sentences in deductive reasoning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* **12**: 530-542, 1973.
- THOMPSON, Denisse. Learning and teaching indirect proof. *Mathematics Teacher* **89**: 474-482, 1996.
- TVERSKY, Amos; KAHNEMANN, Daniel. Judgment under uncertainty: heuristics and biases. *Science, New Series* **185** (4157): 1124-1131, 1974.
- VINNER, Shlomo. The notion of proof - some aspects of students' views at the senior high level. In: *Proceedings of 7th Conference of the Psychology of Mathematics Education*. Israel: Weizmann Institute of Science, 1983. P. 289-294.
- WASON, Peter. Reasoning. Pp. 135-151, in: FOSS, Brian (ed.). *New horizons in psychology*. Harmondsworth: Penguin Books, 1966.
- . Reasoning about a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* **20**: 273-281, 1968.
- WASON, Peter; JOHNSON-LAIRD, Philip. *Psychology of reasoning: structure and content*. Cambridge: Harvard University Press, 1972.

WITTGENSTEIN, Ludwig. *Investigações Filosóficas (Coleção Os Pensadores)*. São Paulo: Nova Cultural, 1989.

O DEBATE REALISMO/ANTIRREALISMO EM SITUAÇÕES DE ENSINO DE FÍSICA, À LUZ DA INTERFACE ENTRE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

Sonia Maria Dion*

Marcus Vinícius Russo Loures**

Resumo: Neste trabalho argumentamos pela necessidade e relevância da articulação de temas filosóficos com a história e conteúdos científicos da Física, em situações de ensino de Física. Como um exemplo, consideramos elementos do debate realismo/antirrealismo no contexto do ensino do conceito de linhas de força, tomando como material histórico textos de Faraday. Defendendo a necessidade do diálogo entre História e Filosofia da Ciência, destacamos o valor da utilização de fontes primárias; examinando concepções de Faraday, reveladas diretamente em seus escritos, evidenciamos uma mudança de estatuto em sua concepção de linhas de força; colocando os estudantes em contato com esse material identificamos que são capazes de derivar conhecimento diretamente do texto. Concluímos pelo valor da leitura e discussão de textos originais dos cientistas, que permitam a explicitação e o confronto de concepções sobre o estatuto dos termos teóricos da Física, visando ampliar o entendimento dos estudantes acerca da natureza e dos limites da ciência física.

Palavras-chave: realismo, antirrealismo, linhas de força, Faraday

REALISM/ANTI-REALISM, PHYSICS TEACHING AND THE INTERCONNECTION BETWEEN HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE

Abstract: This paper argues for the relevance of connecting philosophical issues with historical and scientific contents in Physics teaching. As an example, aspects of the realism/anti-realism debate are considered, and their relevance is justified, within the context of teaching about lines of force using Michael Faraday's texts. The value of the use of such primary sources is brought to the forefront of the discussion about the need for dialogue between the history and philosophy of science. The ideas in Faraday's texts reveal a turning point in his understanding of lines of force; exposing students to these writings demonstrates their capacity to learn directly from the original texts. In conclusion, this paper highlights the value of reading and discussing original works by scientists in order to expose and compare views about the significance of theoretical concepts in Physics whilst broadening students' understanding about the nature and limits of the physical sciences.

Key-words: realism, anti-realism, lines of force, Faraday

* Universidade São Judas Tadeu. Rua Taquari 546 - São Paulo - SP – Brasil CEP: 03166-000. Email: prof.sdion@usjt.br

** Mestrando em Filosofia. Universidade São Judas Tadeu. Rua Taquari 546 - São Paulo - SP – Brasil CEP: 03166-000. Email: produpar1022@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

Muito se tem refletido sobre a relevância e as dificuldades da utilização da História da Ciência no ensino de Física¹. Martins sistematiza alguns usos possíveis, dentre os quais a transmissão de uma visão mais adequada sobre a natureza da Ciência (In: Silva, 2006, p. xxi); Matthews ressalta a inter-relação entre História e Filosofia da Ciência, considerando como reducionista um relato do desenvolvimento da Ciência que seja construído independentemente de seu contexto filosófico (1994, p. 71).

Apesar de, a nosso ver, essa conexão entre História e Filosofia ser estritamente necessária, pois se impõe pela própria natureza do conhecimento científico, quando se trata da utilização de episódios históricos como instrumento de ensino raramente estes têm sido analisados na interface entre esses dois domínios.

E um tema que se põe exatamente nessa região é o debate entre as concepções realistas e antirrealistas de Ciência. Matthews, por exemplo, faz alusão à relação íntima entre Ciência e Filosofia que o estudo das descrições realista e empirista do desenvolvimento histórico da Mecânica evidencia (1994, p. 174)². E o acesso às diferentes visões de Ciência é essencial, pois, como veremos, os estudantes não são neutros no que se refere ao entendimento de sua natureza e de seus limites, mas possuem preconceções que precisam ser trazidas à tona e discutidas.

Para nós, no entanto, a consideração desse tema somente adquire sentido se associado a casos históricos que acrescentem algum conteúdo da própria Ciência, que seja significativo para essa discussão. Dessa forma, é possível introduzi-la sem apelar para seus aspectos mais técnicos, aproximando-a do interesse e das concepções próprias dos estudantes. Para isso, consideramos fundamental a inclusão da análise e discussão de textos originais dos cientistas. Em Filosofia, mesmo estudantes iniciantes dedicam-se ao estudo de fontes primárias. Já no que se refere à utilização da História da Ciência no ensino de Física essa não é uma prática comum, dadas as dificuldades envolvidas na interpretação de um texto de época, ou simplesmente devido às visões equivocadas do papel da História como instrumento de ensino e aprendizagem³. No entanto, não se pode negar que essa é uma forma fecunda de se ter acesso à Ciência como processo e não apenas a seus resultados, em especial àqueles que se mostraram bem sucedidos. Essa fecundidade surge quando se busca nos textos originais a história das ideias, a estrutura, a coerência e as eventuais mudanças nas concepções do cientista, tomando-se o cuidado de entendê-las em seus próprios termos e no contexto de época adequado.

Feitas essas considerações iniciais, justificaremos as ideias expostas aqui e, na sequência, apresentaremos um exemplo de caso histórico que pode ser útil para a introdução do debate

¹ A sugestão de utilização da História da Ciência no ensino possui raízes históricas; Mach e Duhem, por exemplo, já defendiam uma abordagem histórico-filosófica para o ensino da Física.

² Matthews entende empirismo como sendo “a doutrina de que o conhecimento é confinado ao mundo da experiência ou do fenômeno” e realismo epistemológico como “a visão de que o objetivo da ciência é revelar os mecanismos causais que geram o campo da experiência” (1994, p. 163).

³ Martins dá alguns exemplos de utilizações inadequadas que fazem com que, segundo ele, a História da Ciência acabe por constituir um “empecilho ao bom ensino de ciências” (In: Silva, 2006, p. xxv).

realismo/antirrealismo em situações de ensino de Física, à luz da interface entre História e Filosofia da Ciência. Trata-se do conceito de linhas de força no pensamento de Michael Faraday.

2. A NECESSIDADE DO DIÁLOGO ENTRE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

Uma apresentação comparativa de várias propostas relativas à contribuição da História da Física para o ensino dessa ciência, desenvolvida por Seroglou e Koumaras (2001), revela que as questões da Epistemologia e da Filosofia têm sido menos contempladas; seu exame de usos para a História deixa claro o privilégio concedido pela literatura à dimensão cognitiva, que se refere ao ensino e aprendizagem do conteúdo científico da Física, de sua metodologia, e das dificuldades dos estudantes, em especial, o problema das concepções alternativas.

Já a dimensão meta-cognitiva, que inclui o entendimento da natureza e dos fins da Ciência, recebe um número muito menor de contribuições. E Matthews (1988) ressalta que historiadores da Ciência têm sido mais ativos do que filósofos na produção de trabalhos visando a objetivos educacionais.

Embora História e Filosofia sejam disciplinas distintas, com objetivos e métodos próprios, ao tratar de episódios históricos da Ciência é preciso levar em consideração que seus autores tomavam decisões metodológicas que eram um reflexo da epistemologia advogada por eles. Assim, a inter-relação entre esses campos não é uma contingência, pois já está implícita na própria forma como os cientistas trataram seus objetos de estudo. Do ponto de vista dos historiadores e filósofos da Ciência essa interdependência é um dado, pois ao construir seu relato o historiador seleciona e interpreta os fatos de acordo com sua posição epistemológica. Com respeito ao progresso da Ciência, por exemplo, temos duas posições distintas: a que analisa a História buscando rupturas, e a visão continuísta. Assim, ao passo que Thomas Kuhn vê o episódio da revolução copernicana como um paradigma de ruptura na história da Ciência (1970, pp. 95-97), Pierre Duhem destaca a dependência que a formulação final da teoria da gravitação universal, por Newton, tem de concepções que vinham sendo desenvolvidas desde a idade média (1991, pp. 220-252).

Além disso, os manuais utilizados para ensino de Física também não são neutros. No que se refere ao debate em consideração aqui, enquanto alguns passam a ideia de que a Ciência tem caráter instrumentalista, lidando com representações matemáticas que visam à economia e à previsão, outros autores, pelo tipo de linguagem utilizada, induzem a crença de que termos teóricos da Física têm existência real, sem que isso seja devidamente problematizado. Tomemos como exemplo o conceito em foco neste trabalho, o de linhas de força. A abordagem típica dos manuais é a de que linhas de força são apenas uma representação geométrica útil do campo eletrostático, que permite inferir sua direção, sentido e intensidade (p. ex. Hewitt, 2002). Por outro lado, Hewitt apresenta fotos do campo gerado por um par de condutores eletrizados, obtidas a partir de pedaços de linha de costura em suspensão no óleo que os circunda, e pede que “se observe o alinhamento dos fios de linha com a direção do campo” (p. 381). Em nosso entendimento esse artifício acaba por imprimir materialidade às linhas de força. Considere-se também a sugestão de que linhas de força “nascem em cargas positivas e morrem em cargas negativas” (Paraná, 1998, p. 76); os termos “nascer” e “morrer”, mesmo que não intencionalmente, reforçam a perspectiva realista desse conceito.

Finalmente, a própria linguagem da Ciência tem um cunho filosófico, pois se expressa

através de termos como explicação, experimento, modelo, e outros, cuja elucidação é tarefa da Filosofia. E estes conceitos já faziam parte, mesmo que de forma embrionária, dos primeiros desenvolvimentos da Ciência; é, portanto, impossível separar História e Filosofia, quando se pretende ir além da análise dos resultados da Física.

Essas considerações nos fazem defender a necessidade de trazer essa articulação para situações de ensino de Física que se propõem utilizar a História; sem esse diálogo, corre-se o risco de impor a visão reducionista a que se refere Matthews.

3. O VALOR DA UTILIZAÇÃO DE FONTES PRIMÁRIAS COMO MEIO DE INTRODUÇÃO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE FÍSICA

Diferente dos manuais, que disponibilizam apenas os resultados historicamente bem sucedidos, um estudo crítico e fundamentado dos textos originais dos cientistas revela as crenças e métodos de seus autores, as modificações que suas ideias sofreram, e as barreiras envolvidas nesse processo.

Recorrendo a Bachelard, para quem “o espírito pode mudar de metafísica; o que não pode é passar sem metafísica” (1991, p. 15), entendemos que não se faz Ciência à parte de certas concepções características das pessoas e de seu tempo. Chegamos assim àquele aspecto que, para nós, constitui o valor essencial do texto original como instrumento de ensino, ou seja, um meio de se tomar contato com o processo de elaboração dos conceitos, o que tanto pode contribuir para elucidar seu significado, como para dimensionar seu alcance na relação com o mundo.

Não se pode desconsiderar, no entanto, que o tratamento de fontes primárias exige, além de um conhecimento técnico específico, um amplo domínio do contexto de época e do pensamento do autor como um todo. E não se espera que professores e estudantes de Física desenvolvam essa competência no mesmo nível dos historiadores.

Por outro lado, se o objetivo é evitar as simplificações excessivas e as distorções, é condição essencial o acesso a evidências que deem conta dos caminhos e escolhas feitas pelos cientistas. Nesse caso a fonte são seus textos originais, quer as obras canônicas quer as correspondências. Como, então, conciliar a dificuldade com a necessidade?

Embora esse seja um problema complexo, acreditamos que a solução depende de se estabelecer com clareza os objetivos de leitura e utilização dos documentos em sala de aula. Galdabini e Rossi (1993), por exemplo, desenvolveram um trabalho envolvendo a experiência de Oersted, no qual estabeleceram um movimento de leitura, alternando entre documento original e material didático. Seu objetivo, muito bem definido, era o de auxiliar os estudantes a desenvolverem uma melhor leitura do livro texto.

Já a experiência de Gooday et al (2008), teve como objetivo fazer com que os estudantes aprendessem a relativizar as informações encontradas em fontes secundárias. Esses autores acreditam na possibilidade de desenvolver, entre os estudantes, a habilidade de leitura de fontes primárias através de estudos detalhados realizados em sala de aula. E seu objetivo poderia ser compatibilizado com o de Galdabini e Rossi, ao se considerar o livro texto como uma “fonte secundária”.

Como esses autores, acreditamos no potencial dos textos originais como instrumento de ensino; no entanto, ressaltamos que sua plena utilização pressupõe uma articulação entre

conceitos, questões históricas e filosóficas, que não pode ser desfeita, pois está implícita em sua própria estrutura, a não ser correndo-se o risco da perda de rigor e do valor real desse material como instrumento pedagógico.

É necessário, portanto, um conhecimento, mesmo que parcial, do contexto do pensamento do autor, ou seja, quais eram suas concepções e quais problemas estava se propondo resolver. É somente a partir daí que se pode adquirir um critério de escolha, de forma a fazer um recorte na obra do autor que atenda aos objetivos previamente definidos.

Neste trabalho ilustramos esse processo a partir da seleção de um problema em especial, o debate filosófico entre as posições realistas e antirrealistas quanto à natureza da Ciência. Consideremos, então, a relevância da introdução desse tema específico em situações de ensino de Física.

4. A RELEVÂNCIA DA CONSIDERAÇÃO DO DEBATE REALISMO/ANTIRREALISMO EM SITUAÇÕES DE ENSINO DE FÍSICA

Retomando o pensamento de Bachelard, assim como o cientista detém uma metafísica que orienta suas escolhas, o estudante também tem sua própria “metafísica”, um conjunto de crenças que, embora não articuladas, dirige sua forma de conceber a natureza da Ciência. E um dos aspectos dessas crenças tem a ver com seu entendimento do estatuto dos conceitos da Física, em especial, das entidades inobserváveis presentes em suas teorias, questão que se insere no debate realismo/antirrealismo.

Esse debate é um dos temas em discussão na Filosofia contemporânea e já alcança um nível de especificidade bastante grande. Sua exposição nestes termos fugiria dos objetivos deste texto⁴. Tomamos, assim, apenas um de seus aspectos, aquele referente ao estatuto dos termos teóricos da Física.

Uma justificativa é que essa escolha permite colocar em confronto direto duas correntes antagônicas: aquela para a qual as teorias nos dizem como o mundo é, tanto em seus aspectos observáveis como inobserváveis, e a visão de que teorias são simplesmente esquemas que levam a fazer previsões sobre observações, sem nos permitir acesso, mesmo que parcial, à estrutura subjacente ao mundo.

Esse subtema é também relevante em função das dificuldades que os estudantes apresentam ao se deparar com os conceitos e os termos teóricos da Física. É comum, quando se trata de inobserváveis, não fazerem distinção entre o que seria uma interpretação literal, existencial, e aquela que os considera como modelos, ou que lhes atribui uma função eminentemente heurística.

E essa dificuldade não é acidental, mas segundo o referencial de Bachelard, está em nossa própria forma de conhecer. Para ele, nossa cultura científica parte de um “realismo mais ou menos ingênuo”, progredindo em direção a formas cada vez mais elaboradas de racionalismo. Para cada noção, como massa ou força, por exemplo, é possível traçar um perfil de frequência de utilização efetiva das diferentes visões filosóficas, o “perfil epistemológico”, cujo padrão

⁴ Uma sistematização acessível das principais correntes realistas e antirrealistas encontra-se em Pessoa Jr., 2003. Uma exposição, também acessível, dos principais argumentos do debate encontra-se em French, 2009. Já um tratamento detalhado das principais correntes do realismo acha-se em Leplin, 1984.

toma como referência a evolução histórica do conceito científico escolhido (Bachelard, 1991).

Assim como na História esse processo não foi linear, mas envolveu rupturas com visões estabelecidas, também de um ponto de vista individual é necessária uma ruptura com modos anteriores de raciocínio, que podem atuar como obstáculos ao progresso no sentido de se atingir um estágio mais racionalista.

Do ponto de vista do sujeito, o realismo a que se refere Bachelard é uma “filosofia inata”, que se apóia na explicação das propriedades das coisas pela substância, e que considera a Ciência no nível das qualidades sensíveis diretas (Bachelard, 1996). Trazendo esse referencial para se entender o pensamento dos estudantes de Física, fica clara a oposição entre suas concepções e a orientação matemática abstrata, característica de uma visão mais elaborada da Física.

De fato, uma investigação inicial, realizada com estudantes do ensino médio, revela a permanência de concepções realistas, mesmo após terem sido submetidos ao ensino tradicional, baseado no livro texto⁵. Após o estudo do conceito de campo gravitacional surgem, entre os estudantes, afirmações como as seguintes:

*Ele existe, mas visivelmente não, por isso existem dúvidas se ele existe.
Eu acho que ele não existe de fato, pois não dá para ver ele (sic).*

Trechos de discurso como estes revelam que os estudantes trazem uma forte exigência pelo realismo, e uma tensão não resolvida entre sua metafísica pessoal e aquela transmitida pelo ensino tradicional. Trata-se de um realismo não crítico, de um apego às qualidades sensíveis diretas; claramente, não é o resultado de uma escolha, de uma opção filosófica entre as diferentes formas de entendimento sobre o que nos dizem as teorias científicas acerca do mundo, mas de um obstáculo que precisa ser trazido à tona; do contrário, o estudante deterá duas visões, a física da Escola e aquela na qual acredita de fato.

Em nosso entendimento, essa “situação de fato” torna relevante a consideração do debate realismo/antirrealismo. Mas, como trazê-lo para situações de ensino de Física, e fazê-lo de uma forma acessível aos estudantes, contribuindo para que tomem consciência de suas concepções e, ao mesmo tempo, tenham acesso às questões filosóficas que envolvem a natureza e os limites da Ciência?

Gostaríamos, nesse ponto, de retomar a exigência da utilização do texto original, pois esse material pode, a partir de uma determinada base conceitual, permitir o trânsito entre questões históricas e filosóficas, perspectivas que estão implícitas nas escolhas metodológicas e epistemológicas dos cientistas e podem ser abstraídas de seus textos⁶. Para isso, sua

⁵ Não é nosso objetivo aqui fazer a crítica do livro texto. No entanto, é preciso destacar que, no que se refere ao conceito de campo gravitacional ou eletromagnético, os manuais, além de não tratarem a questão da natureza da Física, frequentemente não distinguem fenômenos de conceitos e, em muitos casos, fazem uso de expressões que, mesmo se consideradas metaforicamente, acabam por reforçar o realismo não crítico trazido pelos estudantes. Esse é o caso, por exemplo, da alusão a linhas de força que “nascem” em cargas positivas e “morrem” em cargas negativas, citada anteriormente.

⁶ É preciso, porém, destacar que nem sempre o relato publicado é uma descrição fiel do processo de criação e/ou descoberta, o que introduz uma tensão adicional no tema da utilização dos documentos originais, que não será tratada aqui.

inserção em sala de aula precisa ser associada a algum conteúdo científico específico, que forneça uma base de sustentação para a discussão dos temas filosóficos; ou seja, o texto deve ser inserido como resposta a alguma questão de conteúdo da Física, cuja solução ultrapassa o domínio puramente conceitual e alcança as questões filosóficas que se pretende tratar.

Passemos então a um caso histórico, cuja consideração ilustra a pertinência da utilização de textos originais como instrumento para reflexão sobre concepções, nesse caso, concepção de Ciência, e para tomada de consciência de modos de pensar.

5. O CONCEITO DE LINHAS DE FORÇA: TEXTOS ORIGINAIS DE MICHAEL FARADAY COMO INSTRUMENTO PARA INTRODUÇÃO DO DEBATE REALISMO/ANTIRREALISMO

Uma ideia amplamente contemplada na disciplina de Física no ensino médio é a de linhas de força. Um estudo realizado por Pocovi e Finley (2002)⁷ com estudantes universitários argentinos, tendo como tema esse conceito, identifica a presença tanto de concepções realistas como antirrealistas: enquanto para alguns as linhas de força são meras representações de situações físicas, outros as consideram como entidades reais, capazes de transportar cargas e impor-lhes determinadas trajetórias. Os autores concluem que a menção limitada ao fato de as linhas serem apenas desenhos, e o seu uso intensivo na esquematização de situações eletrostáticas, pode contribuir para que se esqueça de sua condição de artefato geométrico. No entanto, para nós, essa dificuldade independe da metodologia empregada, pois no caso dos estudantes a atribuição de realidade a entidades abstratas da Física tem raízes mais profundas que, fazendo uso do referencial de Bachelard, têm seu fundamento no “obstáculo realista”. Trata-se um realismo ingênuo, não criticado, que segundo esse mesmo referencial constitui um instinto, uma “convicção primeira”, da qual é necessário se tomar consciência para abrir caminho a uma concepção mais racional e abstrata dos conteúdos da Física.

Façamos, em seguida, uma breve consideração do contexto em que surge e se modifica o conceito de linhas de força no pensamento de Michael Faraday⁸.

Após a descoberta da indução eletromagnética, comunicada em 1831, Faraday começa a se interessar pelos aspectos teóricos desse problema. Em 1837 ele admite que “não poderemos ir muito adiante na investigação das leis da eletricidade sem um entendimento mais profundo de sua natureza” (1952, par. 1161, p. 440). Assim, apesar de ser conhecido como físico experimental, Faraday tem interesses de cunho teórico e suas experiências são formuladas como questões à natureza, elaboradas à luz de determinadas concepções; a partir daí, os fatos descobertos passam a integrar essa estrutura teórica.

Vamos nos concentrar na indução elétrica. Faraday elabora uma primeira explicação para esse fenômeno a partir da concepção particulada de matéria, que detinha nesse período. A

⁷ Embora os autores tenham realizado um estudo das concepções de Faraday, sua pesquisa foi baseada nas respostas dadas pelos estudantes a dois conjuntos de problemas, e não a partir de um contato direto com os textos originais do cientista.

⁸ Existem estudos especializados, que discutem as nuances da ideia de linhas de força em Michael Faraday. Ver, por exemplo, Tricker, 1966 e Hesse, 1955. Pocovi e Finley, já citados, fazem também uma breve apresentação dos diferentes entendimentos do cientista para esse conceito.

matéria constitui-se de partículas, sendo cada uma delas um condutor completo; quando submetidas à tensão elétrica, estas se tornam polarizadas, ficando positivas de um lado e negativas de outro. A indução é, portanto, resultado da polarização das partículas e da comunicação da ação elétrica, partícula a partícula.

Nesse contexto, linhas de força são entidades imaginárias, sem existência real, meras representações pictóricas da direção em que a ação se comunica.

Essa concepção de matéria, no entanto, põe o problema do modo de transmissão da ação entre as partículas. Embora negasse a ação a distância para os fenômenos elétricos e magnéticos, admitindo-a apenas para a atração gravitacional, Faraday é obrigado a apelar para esse conceito no que se refere à ação entre partículas contíguas. Ou seja, nega a ação a distância para “distâncias sensíveis” e é forçado a aceitá-la para “distâncias insensíveis”. Essa incoerência é percebida e criticada e faz com que o cientista reconsidere seu modelo inicial.

Seu pensamento passa então por um período intermediário, em que concebe a matéria como constituída de centros de força, que se estendem pelo espaço e podem, assim, fazer com que a matéria atue onde não está.⁹ Dessa fase resulta a publicação de dois artigos¹⁰ em que procura explicitar e justificar suas concepções. Ao fazer isso, Faraday constrói elementos que farão com que reformule as concepções anteriores, passando a conceder um papel ao próprio espaço que cerca a matéria e no qual se fazem presentes as linhas de força.

Temos, em sua concepção final, as linhas como entidades independentes das partículas da matéria. Enquanto em seu pensamento inicial estas apenas distinguem a direção de uma cadeia de partículas submetidas à tensão, na concepção final as partículas interagem diretamente com as linhas de força. E estas adquirem existência real¹¹.

Num artigo intitulado *On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force* (1852), Faraday formula alguns critérios para o entendimento da forma de propagação da gravitação, dos fenômenos elétricos e magnéticos, e da radiação, que, segundo ele, permitem decidir entre ação a distância ou linhas de força. Dentre esses, o que se mostra mais forte é o da curvatura da ação, que ele interpreta como uma evidência da existência física real das linhas de força. Esse critério leva à distinção entre a ação a distância e as outras formas de propagação, pois, segundo seu entendimento, contrário às demais, essa é a única forma de ação que se dá em linha reta. Faraday já havia determinado o caráter curvo da ação magnética em diversas situações experimentais¹². No entanto, estabelecida a existência de linhas curvas de ação, nesse artigo o cientista propõe um salto de interpretação, utilizando

⁹ A verdadeira natureza dessa sua concepção intermediária é ainda objeto de discussão na literatura. Enquanto autores como Pierce Williams, Max Jammer e J. Brookes Spencer vêem seus fundamentos nas ideias de Bosovich e sua teoria dos centros de força, P. M. Heimann a coloca numa tradição característica de autores britânicos, da qual um representante seria Priestley. Existem nuances que diferenciam essas duas visões, cuja apresentação foge aos objetivos dessa comunicação.

¹⁰ *A Speculation Touching Electric Conduction and the Nature of Matter* (1844) e *Matter* (1844), este último traduzido para o português por Sonia Maria Dion (Dion, 2006).

¹¹ Embora não identifique claramente as razões da mudança do estatuto ontológico das linhas de força no pensamento de Faraday, Heimann (1971) examina cronologicamente essa transformação, vinculando-a a sua mudança de concepção da natureza da matéria.

¹² Apesar de receber destaque nessa fase, a associação da indução a linhas curvas já está presente em suas pesquisas desde 1837.

esse resultado como justificativa para a crença na natureza física das linhas de força.

O que se pode extrair dessa breve história? O relato tem como fio condutor a mudança de concepção do cientista a respeito de um conceito da física, o de linhas de força. Um dado significativo é que essa mudança se dá no nível do estatuto atribuído ao conceito, passando de uma concepção antirrealista para a visão realista da noção; e, aspecto significativo para nossa proposta, as diferentes concepções do cientista contemplam as que surgem nas situações de sala de aula, tendo em vista o embate entre a exigência pelo realismo identificada nos estudantes e a apresentação instrumentalista do conceito pelo ensino formal. Esse exame inicial sugere, então, tanto um critério para busca e seleção de excertos como permite estabelecer com clareza os objetivos de leitura dos originais.

É preciso destacar, porém, que as linhas de força de Faraday assumem uma realidade não admissível atualmente, pois não se trata de uma representação simbólica, mas de entidades com existência física real no espaço, e que seu critério da curvatura não é válido. No caso da indução magnética, por exemplo, a configuração apresentada por limalha de ferro no entorno de um ímã representa, de fato, figuras curvas, mas essa curvatura não é resultado de interação com linhas de força reais, curvas, mas sim da força que cada polo da limalha sofre, resultando num binário, cujo efeito é um torque¹³. Nesse sentido, contrário ao que propunha Faraday, ação gravitacional, eletrostática e magnética são equivalentes, pois podem ser explicadas pela ação a distância nos moldes newtonianos, diferindo apenas nos efeitos que as forças produzem.

Assim como no caso específico aqui considerado, contextualizar o pensamento do autor pressupõe também expor suas limitações. Tendo sido tomado esse cuidado, passemos a considerar algumas sugestões de utilização de seus textos como instrumentos para introdução do debate realismo/antirrealismo em situações de ensino de Física.

Vejamos um exemplo de referência a linhas de força, que pertence à primeira fase do pensamento de Faraday.

1304. Tenho usado as frases linhas de força indutiva e linhas de força curvas [...] **apenas num sentido genérico**, assim como falamos de linhas de força magnéticas. **As linhas são imaginárias** e a força, em qualquer parte delas, é, naturalmente, a resultante das forças compostas, cada molécula estando relacionada a toda outra molécula, em todas as direções, pela tensão e reação daquelas que são contíguas [...]. (1952, p. 465; sem ênfase no original)

De um ponto de vista moderno, linhas de força são traçados geométricos, cuja configuração resulta das condições dos campos no espaço, e nos quais o número de linhas por unidade de área é proporcional à magnitude desses campos. Faraday, naturalmente, não dispunha do conceito de campo e as ideias expressas nesse texto não poderiam ser postas nestes termos. No entanto, o excerto nos permite perceber claramente a natureza que ele atribuía às linhas nesse período, ou seja, a de entidades imaginárias e, dessa forma, vem ao encontro de nossos objetivos.

Mas como os estudantes se relacionam com um documento desse tipo? Que níveis de

¹³ A configuração curva se deve, essencialmente, ao fato de não existirem monopolos magnéticos; em termos atuais, diríamos que o comportamento da limalha iguala-se ao de um dipolo num campo elétrico, para o qual o efeito decisivo é o torque aplicado.

leitura são capazes de alcançar?

Numa experiência de ensino que deu sequência à pesquisa mencionada anteriormente, foram inseridas atividades de leitura e discussão de textos de Faraday, como o que apresentamos acima. Em resultado da discussão desse parágrafo específico, colhemos expressões como as que se seguem:

As linhas são uma descrição matemática, não há matéria física.

As linhas não são feitas de nada, ele não acha que existe (sic), mas usa para explicar.

As linhas são somente uma representação de como o fenômeno ocorreria de uma forma mais visual, sendo assim, as linhas não existem de fato.

Frases como essas indicam que os estudantes foram capazes de derivar conhecimento diretamente do texto, e um tipo de conhecimento que se refere à natureza do conceito e sua conexão com a realidade; estamos, assim, diante de uma questão que se coloca no âmbito do debate realismo/antirrealismo, assumindo uma de suas posições, aquela coerente com a visão de que as teorias da Física são esquemas para se fazerem previsões sobre observações, sem nos permitir acesso a entidades inobserváveis.

Já os parágrafos a seguir, extraídos do artigo de 1852, já mencionado, permitem perceber a mudança da concepção de linhas de força de Faraday, a que nos referimos anteriormente.

3243. Recentemente, estive envolvido com a descrição e definição das linhas de força magnética (3070), isto é, aquelas linhas que, de uma maneira geral, são **indicadas** pela disposição de limalha de ferro, ou de pequenas agulhas magnéticas, ao redor de ou entre magnetos; e tenho mostrado, espero que de forma satisfatória, como tais linhas podem ser consideradas como **representantes** exatos do poder magnético, tanto em disposição como em quantidade [...] estou prestes a abandonar, por algum tempo, essa linha de raciocínio, e introduzir algumas **especulações** com respeito ao **caráter físico** das linhas de força, e a **forma como se supõe que elas se estendam através do espaço** [...]. (In: Fisher, 2001, p. 563; sem ênfase no original)

Vemos Faraday recapitulando sua posição anterior e expondo claramente seus objetivos. Ficam evidentes suas preocupações teóricas e a licença que se dá para pensar, “especular”, sobre a forma como as linhas de força se propagam pelo espaço. Esse parágrafo contextualiza o que apresentamos a seguir:

3247. Quando nos voltamos para o fenômeno da radiação, então obtemos a mais alta **prova** de que, embora nada ponderável passe, ainda assim as linhas de força têm, de certa forma, uma **existência física independente** em relação ao corpo radiante, ou ao corpo que recebe os raios. Elas **podem ser desviadas** de seu curso [...] não dependem de um segundo corpo [...] e **requerem tempo** para sua propagação. Em todos esses aspectos elas se apresentam em **nítido contraste** com as linhas da força gravitacional. (In: Fisher, 2001, p. 565; sem ênfase no original)

Aqui, numa referência à radiação, Faraday se aprofunda na questão da natureza das linhas; há uma mudança evidente no entendimento do caráter das linhas de força: o cientista advoga sua “existência física independente”, atribui-lhes um estatuto ontológico.

E quais são suas justificativas? O artigo *On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force* (1852), constitui a defesa de uma concepção *a priori*, a existência física das linhas de força, coerente com a perspectiva de Faraday de transferência da ação para o espaço em que,

na relação matéria-espaço este último cresce em importância. Não cabe aqui analisar as razões de sua mudança de entendimento; no entanto não se pode negar a influência das atividades experimentais na formação de suas concepções teóricas; no parágrafo acima, por exemplo, a defesa da existência física independente se faz a partir de resultados experimentais, como a possibilidade de “desvio” ou o tempo requerido para propagação da radiação, dados que então são transformados em premissas para argumentação. De toda forma, estamos no outro extremo do debate, aquele de posição realista, o que leva a interpretar os inobserváveis presentes nas teorias da Física como dotados de existência real.

O que vimos mostra que os textos de Faraday, quando analisados na interface entre História e Filosofia, podem oferecer um substrato para a introdução do problema filosófico do debate realismo/antirrealismo, já que ambas as posições estão presentes em seu pensamento; além disso, por tratarem de um conceito físico familiar aos estudantes, podem dar sentido a essa discussão.

É preciso reafirmar que o realismo de Faraday, diferente daquele dos estudantes, não era decorrente da valorização ingênua das qualidades sensíveis das coisas e dos fenômenos. A atribuição de existência real às linhas de força se deu a partir da interpretação de resultados experimentais e de escolhas metafísicas e teóricas, em especial, a ideia de que a matéria se difundia pelo espaço na forma de forças. Essa interpretação indica uma visão ontológica, na qual as linhas de força passaram a ser vistas como entidades que tinham existência independente das próprias partículas de matéria. Por outro lado, em Faraday uma noção sucedeu à outra numa ordem que em sala de aula buscamos inverter. O que gostaríamos de destacar aqui é a adesão comum tanto ao caso histórico como às situações de ensino, a ideias que contemplam exatamente os dois polos do debate que se quer explorar.

6. CONCLUSÕES

Mostramos, neste trabalho, que a transposição do debate realismo/antirrealismo para situações de ensino de Física não é contingência, mas uma necessidade, pois, tanto do ponto de vista do referencial bachelardiano, como de situações reais de sala de aula, o apego a um realismo não criticado é uma condição com a qual se tem de lidar.

A oposição entre a concepção científica e a apresentada pelos estudantes não é uma dificuldade decorrente apenas da forma como o livro texto apresenta o conteúdo, mas de nossa própria forma de conhecer. Apresentar o debate, portanto, vai além de uma questão de informação, mas atinge o nível do questionamento de concepções¹⁴. Para isso, é preciso criar situações que evidenciem o contraste e possibilitem a discussão das posições antagônicas. Para nós, atingir esse objetivo exige a atuação na interface entre História e Filosofia da Ciência, pois da História se extraem casos em que posições filosóficas aparecem contextualizadas e adquirem sentido no âmbito de conteúdos científicos determinados.

E o texto original é um instrumento adequado para isso. Examinamos um exemplo de documentos que contemplam o tema específico proposto aqui e demos uma indicação de que os estudantes são capazes de dialogar com seu conteúdo. No entanto, não se pode ignorar a

¹⁴ Temos claro, no entanto, que não se trata de promover uma mudança conceitual completa nas formas do aluno pensar, pois em circunstâncias reais de trabalho escolar esse objetivo é reconhecidamente inatingível.

exigência de um conhecimento, mesmo que parcial, do contexto das ideias do autor, para que não se façam associações simplistas que desconsideram os fundamentos dessas concepções.

O que fazer a partir daí? Sugerimos a continuidade da pesquisa histórica, no sentido de levantar outros casos em que seja possível identificar no mesmo autor, ou em autores distintos, concepções que se aproximem de um ou outro termo do debate e que possam ser associadas a um conceito específico da Física.

A leitura minuciosa e a discussão de textos em que essas ideias possam ser explicitadas, e confrontadas tanto entre si como com as concepções dos alunos, pode, no mínimo, indicarlhes diferentes alternativas de crenças quanto ao estatuto dos termos teóricos da Física e ampliar seu entendimento da natureza e dos limites dessa Ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao parecerista anônimo por sua leitura rigorosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACHELARD, Gaston. *A Filosofia do Não*. Trad. Joaquim José M. Ramos. Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- _____. *A Formação do Espírito Científico*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- DION, Sonia M. Michael Faraday e o Manuscrito Matter: Uma Solução Metafísica para o Problema da Ação a Distância. *Scientiae Studia* 4 (4): 615-620, 2006.
- DUHEM, Pierre M. M. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton: Princeton University Press, 1991.
- FARADAY, Michael. *Experimental Researches in Electricity*. Vol I, First Series, 1831 in HUTCHINS, R. M. (ed.). *Encyclopaedia Britannica, Inc*. Chicago: The University of Chicago Press, 1952.
- FISHER, Howard J. *Faraday's Experimental Researches in Electricity: a Guide to a First Reading*. Santa Fé: Green Lion Press, 2001.
- FRENCH, Steven. *Ciência: Conceitos Chave em Filosofia*. Trad. André Klaudat. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- GALDABINI, Silvana; ROSSI, Ornella. Using Historical Papers in Ordinary Physics Teaching at High School. *Science & Education* 2: 239-242, 1993.
- GOODAY, Graeme; LYNCH, John M.; WILSON, Kenneth G.; BARSKY, Constance K. Does Science Education Need the History of Science? *Isis* 99 (2): 322-330, 2008.
- HEIMANN, P. M. Faraday's Theories of Matter and Electricity. *The British Journal for the History of Science* 5 (19): 235 -257, 1971.
- HESSE, Mary B. Action at a Distance in Classical Physics. *Isis* 46 (4): 337- 353, 1955.
- HEWITT, Paul G. *Física Conceitual*. Trad. Trieste Ricci e Maria Helena Gravina. São Paulo: Artmed, 2002.
- KUHN, Thomas S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Trad. Beatriz Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 1970.
- LEPLIN, Jarrett (org.). *Scientific Realism*. Berkeley: California Press University, 1984.

- MATTHEWS, Michael R. *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- _____. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. *Educational Philosophy and Theory* **20** (2): 67-81, 1988.
- PARANÁ, Djalma N. da Silva. *Física*. São Paulo: Editora Ática, 1998.
- PESSOA Jr., Osvaldo. *Conceitos de Física Quântica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.
- POCOVI, M. Cecília; FINLEY, Fred. Lines of Force: Faraday's and Students Views. *Science & Education* **11**: 459- 474, 2002.
- SEROGLOU, Fanny; KOUMARAS, Panagiotis. The Contribution of the History of Physics in Physics Education: A Review. *Science & Education* **10**: 153-172, 2001.
- SILVA, Cibelle. C. (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- TRICKER, Ronald A. Rason. *The Contributions of Faraday and Maxwell to Electrical Science*. Oxford: Pergamon Press, 1966.

III. NATUREZA DA CIÊNCIA

CONTROVÉRSIAS SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Alexandre Bagdonas*
Cibelle Celestino Silva**

Resumo: *Discutimos aspectos controversos sobre a natureza da ciência relacionando-os com o encontro de diferentes visões de mundo nas aulas de ciências. Abordamos o debate entre realismo e antirrealismo na epistemologia e suas implicações para o ensino, assim como sua influência nos debates sobre o construtivismo no ensino de ciências. Buscamos sintetizar as discussões anteriores, construindo uma lista de tensões entre duas visões opostas sobre a natureza da ciência, que classificamos como “positivista” e “construtivista”. Finalmente, sugerimos uma proposta de síntese, deixando explícito o caráter dialético das questões epistemológicas abordadas, dando preferência para posturas moderadas, intermediárias entre estes dois extremos.*

Palavras-Chave: *Natureza da ciência; visões de mundo; realismo*

Controversies about the nature of science in science education

Abstract: *We discuss controversial aspects about the nature of science relating them to the clash of different worldviews in science classes. We analyze the debate between realism and antirealism in epistemology and its implications for teaching, and its influence on debates about constructivism in science education. We sought to summarize the previous discussions building a list of tensions between two opposing views about the nature of science, which was classified as "positivist" and "constructivist". Finally, we suggest a synthesis, making explicit the dialectical character of the epistemological issues addressed. We give preference to moderate positions, intermediate between these two extremes.*

Key-words: *nature of science; worldviews; scientific method; realism*

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) valorizam “a ideia de uma física

* Estudante de doutorado no Curso de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. Endereço para correspondência: São Paulo, São Paulo, Brasil, Caixa Postal 66318 CEP 05314-970, alexandre.bagdonas@usp.br. Bolsista FAPESP, processo 2008/07928-0.

** Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos, SP, 13566-590. Email: cibelle@ifsc.usp.br

como cultura ampla e como cultura prática, assim como a ideia de uma ciência a serviço da construção de visão de mundo e competências humanas mais gerais” (Menezes, 2000, p. 8). Nesse sentido, é importante a pesquisa sobre como o ensino de física pode apresentar uma visão mais complexa e rica sobre o que é ciência, evitando as abordagens tradicionais que privilegiam apenas a memorização e aplicação de fórmulas, sem questionar as implicações do que se aprende para o modo como se enxerga o mundo. É necessário ressaltar, entretanto, que a chamada “visão de mundo científica”, normalmente considerada como objetiva, neutra e racional, esconde uma ampla variedade de visões diferentes que podem ser consideradas “científicas”. É importante lembrar que outros tipos de visões de mundo também são compatíveis com a atividade científica.

A *visão de mundo científica* pode conter várias posturas diferentes quanto ao grau de confiança e o valor atribuído ao conhecimento científico, uma vez que estes conceitos são fortemente influenciados por fatores filosóficos, ideológicos e religiosos (Cordero, 2009, p. 748). O encontro de diferentes visões de mundo em sala de aula tem sido investigado por diversas pesquisas recentes (Sepúlveda & El Hani, 2004; El Hani & Mortimer, 2007; Henrique, 2011).

Este artigo é parte de uma pesquisa de mestrado que teve como objetivo contribuir para a inserção da história e filosofia da ciência (HFC) nas aulas de física, apresentando episódios da história da cosmologia para discutir sobre a natureza da ciência (NdC) e o encontro de diferentes visões de mundo nas aulas de ciências. O episódio histórico escolhido foi a controvérsia entre a teoria do Big Bang e a do Estado Estacionário, que ocorreu a partir da segunda metade do século XX (Henrique, 2011). Neste artigo realizamos um recorte da pesquisa, sem abordar um determinado caso histórico. Ao invés disso, apresentamos uma revisão dos debates atuais sobre a natureza da ciência e sua importância para as discussões relacionadas ao encontro de diferentes visões de mundo nas aulas de ciências, apresentando a tensão entre duas tendências gerais que produziram visões diferentes sobre a natureza da ciência: uma tendência relacionada à tradição “iluminista” ou “positivista”, que foi mais influente no século XIX e na primeira metade do século XX, sendo marcada pela valorização da ciência. Ela é em geral mais comum entre cientistas. A segunda tendência se relaciona com a tradição “pós-moderna” ou “relativista”, que se fortaleceu a partir da segunda metade do século XX, sendo marcada por uma visão mais crítica e pessimista sobre o valor da ciência. Tendo em vista esta tensão, vamos discutir alguns aspectos controversos sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino de ciências.

2. A NATUREZA DA CIÊNCIA

A “Natureza da Ciência” (NdC) é um conceito bastante complexo e dinâmico, uma vez que envolve os resultados de pesquisas de diversas áreas, como a história, filosofia e sociologia das ciências, além de ciências cognitivas, como a psicologia. A tentativa de esboçar tópicos consensuais sobre NdC tem sido objeto de investigação de um grande número de artigos nos últimos anos. Artigos de revisão da pesquisa recente sobre esse assunto apresentaram listas com tópicos sobre NdC para serem ensinados nas aulas de ciências, cujos elementos são muito parecidos (como, por exemplo, McComas; Almazroa & Clough, 1998; Gil-Perez *et al.*,

2001; Lederman 2007). Nestes trabalhos de revisão, foram apresentadas muitas pesquisas sobre as concepções dos estudantes e professores sobre NdC desenvolvidas nos últimos anos. Em geral, chegou-se a resultados bastante semelhantes apontando que as concepções dos professores sobre NdC influenciam as de seus alunos e que estas concepções geralmente são inadequadas. Algumas destas “concepções inadequadas” foram chamadas de “visões deformadas sobre o trabalho científico” por Gil Pérez e colaboradores (2001, pp. 129-134):

- Conceção empírico-indutivista e atórica, que destaca o papel “neutro” da observação e da experimentação, esquecendo o papel essencial das hipóteses como orientadoras da investigação, assim como das teorias disponíveis que orientam todo o processo;
- Visão rígida, algorítmica, exata da prática científica, que se resumiria ao emprego de um suposto ‘método científico’, entendido como um conjunto de etapas que devem ser seguidas mecanicamente;
- Relativismo extremo, tanto metodológico (“tudo vale”), como conceitual (não há uma realidade objetiva que permita assegurar a validade das construções científicas: a única base em que se apoia o conhecimento é o consenso da comunidade de investigadores nesse campo);
- Uma visão dogmática e fechada da ciência, que ignora os obstáculos enfrentados e erros cometidos ao longo do processo de construção das teorias. Seguindo essa visão, o ensino é conduzido como uma retórica de conclusões, buscando-se transmitir aos alunos conhecimentos já elaborados, reconstruídos racionalmente, sem discutir as limitações do conhecimento científico.
- Uma visão individualista e elitista da ciência, em que o conhecimento científico é visto como a obra de gênios isolados, perdendo-se de vista a natureza cooperativa do trabalho científico.
- Uma visão socialmente neutra da ciência, que diminui a importância das relações entre ciência, tecnologia e sociedade e ignora o contexto histórico e cultural em que se insere a atividade científica.

Além destas “deformações”, outras pesquisas encontraram outras visões semelhantes, considerando-as inadequadas, tais como:

- Falta de compreensão dos conceitos metateóricos ‘fato’, ‘evidência’, ‘observação’, ‘experimentação’, ‘modelos’, ‘leis’ e ‘teorias’, bem como de suas inter-relações (Teixeira; Freire Júnior & El-Hani, 2009, p. 531).
- Um compromisso com uma visão epistemológica absolutista, de acordo com a qual uma forma de conhecimento pode ser entendida como definitiva e absolutamente verdadeira. O termo “absolutismo epistemológico” foi criado pelo filósofo britânico Stephen Toulmin (1922-2009), se referindo à crença na infalibilidade do método científico e na veracidade absoluta e superioridade do conhecimento científico (Harres, 1999, p. 200).

Contudo, algumas destas concepções consideradas “inadequadas” envolvem alguns aspectos pouco consensuais sobre a natureza da ciência, que ainda provocam debates entre pesquisadores do ensino de ciências. Algumas destas questões controversas são a tensão entre realismo e antirrealismo, entre racionalismo e historicismo, e sobre a relação entre experimentos, observações e teorias. A maioria dos pesquisadores reconhece que a geração do conhecimento científico depende de questões teóricas e de fatores históricos e sociais, mas há uma grande discordância sobre a importância dessa influência “externa” quando comparada com a de fatores “internos”, lógicos ou racionais (Eflin; Glennan & Reish, 1999, p. 109).

Tendo em vista essas controvérsias, é importante lembrar que dada a complexidade destas questões é bastante arriscado estabelecer uma suposta “concepção adequada de ciência” como se fosse a única visão correta. Assim como se propõe que uma visão dogmática e fechada da ciência seja inadequada, o mesmo se aplica às teorias sobre a natureza da ciência.

Esta cautela em relação à criação de listas sobre “a visão correta da natureza da ciência”

está presente nos artigos feitos pelos pesquisadores da área de ensino que sintetizaram as concepções listadas acima. Abd-El-Khalick & Lederman (2000) mostram que preferem usar a sigla “NOS” (natureza da ciência) ao invés de “the NOS” (a natureza da ciência), já que não acreditam na existência de uma única “natureza da ciência”, ressalva com a qual concordamos. Acreditam que seja importante ressaltar que o conjunto de aspectos selecionados sobre NdC atualmente não podem ser considerados intrinsecamente superiores aos que foram adotados no passado, uma vez que se deve analisá-los levando em conta o contexto em que foram criados.

É bem aceito entre os pesquisadores que escreveram sobre NdC no ensino de ciências que a própria definição de natureza da ciência não é muito precisa, nem consensual, pois existem diversas visões sobre a ciência muito diferentes entre os epistemólogos. Como existem várias disciplinas científicas e suas naturezas são conceitos que mudam muito ao longo da história, a ciência seria um fenômeno cultural muito difuso para ser caracterizado por uma natureza única (Alters, 1997, Eflin; Glennan & Reish, 1999).

Porém, apesar de os pesquisadores que escrevem sobre NdC estarem cientes da necessidade de cautela em relação à imposição de uma visão “adequada” sobre a ciência, é preocupante que com a divulgação destes trabalhos ressalvas cautelosas sejam esquecidas. Assim, encontraríamos professores utilizando a lista de aspectos “consensuais” sobre a natureza da ciência como um novo currículo a ser ensinado nas aulas de ciências.

Outro aspecto a ser considerado, diz respeito à complexidade dos debates epistemológicos. Alguns autores questionam a relevância de se ensinar aspectos controversos da natureza da ciência para não especialistas. No entanto, a ênfase sobre controvérsias epistemológicas pode ocultar o fato de que há também um grau relativamente alto de concordância sobre alguns aspectos de uma visão adequada sobre NdC (Teixeira; Freire Júnior & El-Hani, 2009, p. 534; McComas 2008, p. 250). Ainda que haja muitos opositores à noção de uma única natureza da ciência no âmbito das discussões epistemológicas, é possível derivar alguns pontos de concordância entre filósofos, historiadores e pesquisadores do ensino de ciências e apresentar alguns tópicos considerados mais relevantes para o ensino.

A chamada “visão consensual” que tem sido apresentada em diversas pesquisas busca contornar as dificuldades relacionadas ao ensino da natureza da ciência, apresentando apenas os aspectos menos controversos (Irzik & Nola, 2011). Porém, acreditamos que há aspectos controversos sobre a natureza da ciência que poderiam ser abordados no ensino de ciências, tais como: O que é ciência? Qual é a diferença entre opinião, crença e conhecimento? O que é a verdade? A ciência busca a verdade? O que pode contar como evidência numa investigação? Como julgar entre hipóteses ou teorias diferentes em competição? Sendo assim, neste trabalho abordaremos aspectos do debate entre realismo e antirrealismo, relacionado às polêmicas sobre a autoridade e confiança atribuída ao conhecimento científico.

Finalmente, buscamos sintetizar as discussões anteriores, construindo uma lista de propostas moderadas sobre a natureza da ciência no ensino, que podem ser vistos como certo “consenso pragmático” pensado para o ensino de ciências, dando preferência para posturas críticas.

3. DUAS VISÕES OPOSTAS SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA: CONSTRUINDO UM CONSENSO

Na tabela abaixo apresentamos de forma bastante resumida, correndo o risco de parecerem caricaturas exageradas, duas tendências e deixamos claro que os termos “positivista” e “construtivista” estão entre aspas, pois tratam de uma simplificação com fins didáticos. Tanto autores mais próximos da tendência “positivista” (como Francis Bacon, Auguste Comte ou Karl Popper) quanto os mais próximos da tendência “construtivista” (como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend ou Bruno Latour) não adotariam, em geral, esse tipo de postura.

Tabela 1. Visões extremas sobre a natureza da ciência¹.

Questão	Tendência “positivista”	Tendência “construtivista”
Realidade	Modelos representam a realidade	Modelos são criações humanas
Verdade	A ciência é constituída de verdades atemporais	Não existe verdade, tudo é relativo.
Razão	A ciência é neutra, objetiva e racional	Conhecimento é opinião, a ciência contém elementos irracionais
Autoridade	O cientista é sempre crítico e duvida de toda autoridade estabelecida	Os cientistas são dogmáticos, sempre se submetem às regras estabelecidas pela comunidade científica
Experimento	A ciência parte de experimentos ou da observação	Toda observação é interpretada à luz de teorias prévias
Método	O método científico é universal e atemporal	Não existe método científico
Demarcação	O método científico caracteriza o que pode ser considerado científico	É impossível dizer “o que é ciência”, essa é uma definição arbitrária de cada sociedade.
Valor	A ciência é superior e mais confiável do que outras formas de conhecimento	Todas as formas de conhecimento são equivalentes

A “tendência positivista” considera que o conhecimento científico é conhecimento provado; que as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa a partir de dados da experiência adquiridos por observação e experimento; a ciência é baseada no que podemos ver, ouvir, tocar, medir, etc., de forma que opiniões ou preferências pessoais e suposições especulativas não têm lugar na ciência; a ciência é objetiva; e o conhecimento científico é conhecimento confiável porque é conhecimento provado objetivamente (Chalmers, 1993, p. 23). Esta tendência também é semelhante ao que Gerard Fourez chama de visão idealista da ciência: a ciência descobriria leis eternas, as “leis imutáveis da Natureza”. Os conceitos científicos seriam descobertos, reencontrando uma espécie de “realidade em si” (Fourez, 1995, p. 252).

¹ Esta lista foi criada por nós a partir da leitura de diversos trabalhos sobre HFC e NdC no ensino de ciências, tais como: Pessoa Jr., 2009; Moura, 2008, p. 8-24; McComas, 2008, p. 251; Pagliarini, 2007, p. 27-33; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Eflin; Glennan & Reish, 1999; McComas; Almazroa & Clough, 1998, p. 513; Matthews, 1994, p. 35.

Já a “tendência construtivista” seria uma radicalização ingênua das críticas ao positivismo que se tornaram bastantes influentes na educação a partir da segunda metade do século XX, com a difusão de obras de autores como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend. Seria então uma caricatura da “visão histórica da ciência”, apresentada por Fourez: a ciência seria feita pelos e para os seres humanos. Passam a ser considerada como uma construção histórica, condicionada por uma época e por projetos específicos (Fourez, 1995, p. 252). Essa caricatura seria mais comum em indivíduos adeptos de uma visão de mundo humanista, que desconfiam da autoridade atribuída ao conhecimento científico, sendo baseada numa extrapolação exagerada das críticas apresentadas à visão empírico-induvista da ciência, como a defesa da dependência que a observação tem da teoria (Chalmers, 1993, pp. 46-60; Fourez, 1995, pp. 37-63).

O chamado *realismo científico* é a tese de que as proposições de uma teoria têm “valor de verdade”, isto é, são ou verdadeiras ou falsas, de acordo com a teoria da verdade por correspondência. Assim, uma teoria física serve para “explicar” fenômenos em termos da realidade física subjacente, e não apenas para prevê-los. Já o antirrealismo pode ser chamado de fenomenalismo. Segundo esta posição, uma teoria científica se refere apenas àquilo que é observável. Não faz sentido afirmar que algo que não pode ser observado corresponde a uma entidade real. Uma das correntes principais do observacionismo é o *instrumentalismo*, que propõe que a ciência não almeja fornecer descrições verdadeiras a respeito das causas ocultas dos fenômenos, seria apenas um instrumento para fazer previsões precisas (Pessoa Jr., 2009, p. 59).

O debate entre realismo científico e o instrumentalismo envolve a realidade dos conceitos científicos teóricos (como, por exemplo, os quarks e o campo elétrico na física, os orbitais atômicos na química, e espécies, filos e reinos na biologia). Um realista defende a existência dessas entidades, enquanto os instrumentalistas argumentam que elas são apenas ferramentas, ou instrumentos que nos ajudam a descrever o mundo. Muitos filósofos são realistas em certos domínios, mas instrumentalistas em outros e há também os que se dizem nem realistas nem instrumentalistas, além dos que dizem que esse debate é estéril, ou sem sentido (Eflin; Glennan & Reish, 1999, p. 113).

Uma posição relativamente popular entre professores tanto da educação básica quanto do ensino superior é o chamado *realismo ingênuo*, a crença de que as impressões dos sentidos nos permitem ter acesso a uma realidade verdadeira, independente dos conceitos teóricos do observador (Bisch, 1998). Podemos associar essa visão à ideia de que os cientistas seriam *leitores passivos* do “livro da natureza que está escrito em linguagem matemática”². O cientista faria observações neutras e objetivas, *descobrendo* o funcionamento da natureza. Como dissemos, a “caricatura positivista” apresentada na tabela 1 não pode ser identificada com as ideias dos adeptos do Positivismo Lógico, uma postura epistemológica antirrealista.

² Essa famosa frase é atribuída a Galileu: “A filosofia está escrita neste grandíssimo livro que continuamente nos está aberto diante dos olhos (eu digo o universo), mas não se pode entender se primeiro não se aprende a entender a língua e conhecer os caracteres, com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, meios sem os quais é impossível entender humanamente qualquer palavra; sem estes vaga-se em vão por um escuro labirinto (Galilei, 1928–1938, VI, p. 232, tradução de Mariconda e Lacey, 2001).

Nessa visão, associamos o realismo ingênuo à “tendência positivista”, porque de maneira geral o realismo é mais comum entre cientistas e indivíduos que têm apreço e confiança na ciência, enquanto o antirrealismo tem sido defendido por muitos dos críticos a essa epistemologia mais conservadora.

Uma das questões importantes sobre NdC que contradiz o realismo ingênuo é a noção de que as observações da realidade são influenciadas por teorias e que a atividade dos cientistas é influenciada por suas experiências prévias e características subjetivas. Ao longo da segunda metade do século XX, se fortaleceu a visão de que a ciência é uma construção humana, sendo que na mesma época o *construtivismo* ganhou importância no ensino de ciências.

Segundo a “tendência construtivista”, seria possível dizer que os cientistas *escrevem* o livro da natureza. A ideia de que o conhecimento é uma construção ativa do sujeito atravessa e constitui toda a epistemologia moderna. Contudo, posições construtivistas radicais têm sido bastante criticadas por pesquisadores da educação científica (Matthews, 1994; Pietrocola, 1999; El Hani & Bizzo, 2002). Uma posição construtivista radical afirmaria que os cientistas são escritores criativos do “livro da natureza”, livres para fazer invenções sem qualquer compromisso com o mundo natural. Nesse sentido nada nunca teria sido descoberto, a ciência seria uma criação humana determinada puramente por fatores sociais, históricos e culturais sem um compromisso com algum tipo de realidade objetiva. O movimento construtivista teria exagerado a importância atribuída ao papel do indivíduo na apreensão de novos conhecimentos, apresentando a ciência apenas como uma *construção humana* e nunca como *descoberta*, negligenciando a relação entre as teorias científicas e a realidade. Esta postura enfatizaria excessivamente os processos cognitivos durante a construção do conhecimento, sem levar em conta os contextos empírico e social.

Alguns autores defendem que seria importante fortalecer a dimensão ontológica do conhecimento, valorizando as relações entre os conteúdos ensinados e a realidade cotidiana dos alunos, promovendo pelo menos um sentimento de realidade. Caso contrário, ocorreria um fortalecimento do relativismo e a ciência perderia espaço para outras atividades supostamente mais interessantes ou mais práticas. Sem a possibilidade de aplicar os conhecimentos científicos estudados na escola na apreensão da realidade, estes só teriam função como objetos escolares, isto é conhecimentos destinados a garantir o sucesso em atividades formais de educação. Fragilizada, a educação científica tenderia a ser preterida por opções culturais aparentemente mais atraentes como o ocultismo, a religião, a astrologia, ou mais práticas como a computação e a economia (Pietrocola, 1999, p. 221). Há também autores que defendem que elementos das análises dos autores dessa tendência pós-moderna podem fornecer uma imagem mais realista e rica da ciência contemporânea, sendo que para evitar tendências irracionistas o melhor seria debatê-las em sala de aula, ao invés de simplesmente ignorá-las (Greca & Freire Jr., 2004, p. 348; Barcelos, 2008).

A tendência geral no ensino de ciências é a de adotar posições intermediárias, evitando os extremos nos debates. Evita-se a postura radical que propõe abolir completamente as tentativas de demarcar a ciência da não ciência, argumentando a favor da existência de critérios de demarcação flexíveis, que mudam ao longo história e são influenciados pela cultura de cada sociedade.

Concordando com autores como Matthews (1994), Pietrocola (1999) e El Hani & Bizzo

(2002), acreditamos que é importante superar qualquer oposição extremada entre realismo e antirrealismo, assim como entre racionalismo e relativismo. Sendo assim, poderíamos dizer que os cientistas não são apenas leitores tampouco apenas escritores do “livro da natureza”, ou seja, a ciência consiste tanto de descobertas quanto de construções humanas sobre o mundo natural.

Buscamos deixar claro o caráter dialético das questões epistemológicas abordadas, apresentando duas visões opostas e extremas da ciência: a “tendência positivista” e a “tendência construtivista”. Apresentamos abaixo algumas questões controversas sobre a natureza da ciência, dando preferência para posturas moderadas, intermediárias entre estes dois extremos.

A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais e pressupõe para fins práticos que seu objeto de estudo é real (realismo moderado). Com isso evita-se assim tanto a ideia de que a ciência apenas descreve os fenômenos quanto a de que as teorias científicas são ideias arbitrariamente construídas sem (ou com poucas) conexões com a realidade.

A ciência busca descrever o mundo de uma maneira ordenada, compreensível e mais simples possível. Com isso evita-se a noção de o mundo é necessariamente ordenado e compreensível, ou que exista necessariamente uma finalidade nos processos naturais, assim como a de ele é caótico e desordenado e que a causalidade seria imposta arbitrariamente.

O conhecimento científico é provisório e confiável. Com isso evita-se tanto o absolutismo epistemológico quanto o relativismo epistemológico radical. Ainda que o conhecimento humano seja imperfeito e não chegue a verdades definitivas, produz resultados valiosos e duráveis e existe a possibilidade de comparação entre teorias.

Defesa do racionalismo moderado. Com isso evita-se a tese de que a ciência seja totalmente racional ou completamente irracional. Os argumentos científicos devem se adequar aos princípios da razão lógica. Porém há fatores “irracionalis” que influenciam a prática científica. Dessa forma se evita a “reconstrução racional” como única forma de descrever a atividade científica. Não é justo apenas transmitir conteúdos prontos aos alunos, sem mostrar os conflitos e erros inerentes ao processo de construção do conhecimento científico.

Defesa do empirismo moderado. Com isso ressalta-se que a produção do conhecimento científico envolve a observação e o registro cuidadoso de dados experimentais, mas os experimentos não são a única rota para o conhecimento e são dependentes de teorias, já que uma observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente. As interpretações de evidências empíricas são complexas, não permitindo interpretações únicas.

Existência de uma pluralidade metodológica. Com isso evita-se a ideia de que a ciência segue um método rígido e imutável, assim como a ideia de que não existe nenhum método nas ciências. Não é possível defender a existência de um método científico como um conjunto de etapas que devem ser seguidas mecanicamente que descreveria de maneira rígida e algorítmica a prática científica. Há uma grande variedade de métodos e os cientistas são criativos

Existem critérios de demarcação, que definem o que é ciência. Com isso evita-se também a ideia de que ciência, religião, metafísica, artes, vodu e astrologia são todas formas equivalentes de se ver o mundo. Os critérios de demarcação são definidos pela comunidade científica e mudam ao longo da história.

A ciência tem valor, mas não responde a todas as perguntas. Com isso evita-se tanto o cientificismo como a total desvalorização da ciência. Existem questões que estão fora do campo de investigação científico. A ciência não é a única forma válida de se obter conhecimento a respeito do mundo.

4. IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO

Dada a pluralidade de visões possíveis nas controvérsias epistemológicas mencionadas acima, vemos que não existe apenas uma “natureza da ciência”. A natureza da ciência é complexa e dinâmica. Ainda que exista certo consenso entre epistemólogos sobre a descrição

da prática científica, há uma grande discordância sobre as prescrições de como a ciência deveria ser, de forma que não é aconselhável o uso de conceitos únicos, rígidos e universais da chamada *natureza da ciência* ou mesmo do que seria uma *visão de mundo de científica*.

Muitos professores desprezam ou temem discussões abertas, em que não se sabe que rumo a aula vai tomar e há o risco de se discutir “sem chegar a lugar algum”. Ousar abordar questões controversas em sala de aula envolve questionar a postura tradicional do professor como o detentor da “Verdade” e que deve ter a resposta para todas as perguntas, assim como acostumar os alunos com a ideia de que discussões são boas oportunidades de aprendizado, mesmo que não se chegue a uma conclusão definitiva. O objetivo da educação científica não deveria ser o de apenas transmitir conhecimentos específicos que tratam de certos fenômenos – ela poderia estar empenhada na construção de uma visão de mundo bem fundamentada, considerando que tal processo é hoje fortemente influenciado pelas teorias científicas.

Acreditamos que seja de fato impossível esgotar essa discussão sobre a natureza da ciência, que tem atravessado vários séculos de debates e continua aberta. Se não há uma postura única para ser defendida como “o que todos deveriam fazer”, podemos pelo menos afirmar que posturas extremas como o realismo ingênuo e a visão empírico-induvista, que são muito comuns, devem ser problematizadas na formação inicial de professores de ciências. Mesmo quando não há consenso, pode-se apresentar uma pluralidade de visões, uma vez que o objetivo do ensino não é doutrinar, mas indicar razões para que se aceite uma visão particular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Normam G. Improving science teachers’ conceptions of the nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education* **22** (7): 665-701, 2000.
- ALTERS, Brian. Nature of science: A diversity or uniformity of ideas? *Journal of Research in Science Teaching* **34**: 1105-1108, 1997.
- BARCELOS, Marcília. *História, Sociologia, Massa e Energia. Uma reflexão sobre a formação de pesquisadores em física*. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências (Modalidades Física, Química e Biologia)) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.
- BISCH, Sérgio. *Astronomia no 1º grau: natureza e conteúdo do conhecimento de estudantes e professores*. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- CHALMERS, Alan. *O que é a ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CORDERO, Alberto. Contemporary Science and Worldview-Making. *Science & Education* **18**: 747-764, 2009.
- EFLIN, Juli; GLENNAN, Stuart; REISH, George. The Nature of Science: A Perspective from the Philosophy of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **36** (1): 107-116, 1999.
- EL-HANI, Charbel N.; BIZZO, Nelio. Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências* **4**: 1-25, 2002.

- EL-HANI, Charbel N.; MORTIMER, Eduardo F. Multicultural education, pragmatism, and the goals of science teaching. *Cultural Studies of Science Education* **2**: 657-702, 2007.
- FOUREZ, G. *A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências*. São Paulo: Editora da UNESP, 1995.
- GAUCH, Hugh G. Science, Worldviews and Education. *Science & Education* **18**: 667-695, 2009.
- GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma Imagem Não-deformada do Trabalho Científico. *Ciência & Educação* **7** (2): 125-153, 2001.
- GRECA, I. M.; FREIRE JR, O. A “crítica forte” da ciência e implicações para a educação em ciências. *Ciência & Educação* **10** (3): 343-361, 2004.
- HARRES, João B. S. Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a natureza da ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências* **4** (3): pp. 197-211, 1999.
- HENRIQUE, Alexandre B. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia*. São Paulo, 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências (Modalidades Física, Química e Biologia)) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo.
- IRZIK, Gürol; NOLA, Robert. A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education* **20**: 7-8, 2011.
- MATHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, William F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. *Science & Education* **7**: 511-532, 1998.
- MCCOMAS, William F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education* **17** (2-3) 249-63, 2008.
- MENEZES, L. C. Uma Física para o novo Ensino Médio. *A Física na Escola* **1** (1): 6-8, 2000.
- LEDERMAN, N Nature of science: past, present, and future. In S Abell & N Lederman (Eds), *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates pp. 831-880, 2007.
- MARICONDA, Pablo; LACEY, Hugh. A águia e os estorninhos: Galileu e a autonomia da ciência. *Tempo soc.*, São Paulo , **13** (1),pp.45-65, 2001 .
- MOURA, Breno A. *A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a natureza da ciência no ensino*. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo.
- PAGLIARINI, Cassiano. *Uma análise da história e filosofia das ciências presentes em livros didáticos de física para o Ensino Médio*. São Carlos, 2007. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PESSOA JR., Osvaldo F. A. classificação das diferentes posições em filosofia da ciência. *Cognitio-Estudos* **6** (1): 54-60, 2009.
- PIETROCOLA, Maurício. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. *Investigações em Ensino de Ciências* **4** (3): pp. 213-227, 1999.

- SEPÚLVEDA, Claudia; EL-HANI, Charbel. N. Quando visões de mundo se encontram: religião e ciência na trajetória de formação de alunos protestantes de uma licenciatura em Ciências Biológicas. *Investigações em Ensino de Ciências* **9** (2): pp. 137-175, 2004.
- TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JÚNIOR, Olival; EL-HANI, Charbel Niño. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de Física. *Ciência & Educação* **15**: pp.529-556, 2009.

WHITHER THE VNOS?

David W. Rudge*
Eric M. Howe**

Abstract: For over two decades science educators have drawn attention to the need for a reliable instrument to assess student understandings of a variety of issues associated with the nature of science (Lederman & O'Malley, 1990). The Views on the Nature of Science questionnaire (VNOS) (Lederman et al., 2002) and its numerous refinements (VNOS-B, C, D and E) have been particularly prominent among researchers on the teaching and learning of issues associated with the nature of science. They have also been the object of considerable theoretical criticism (Chen, 2006; Settlage et. al., 2005). The following essay discusses practical problems associated with the use and interpretation of the VNOS in the context of three empirical studies conducted at a large Midwestern university. It concludes the VNOS is in principle incapable of assessing student views about issues associated with the nature of science because it treats these issues as declarative facts students should know about science, rather than a set of skills students should be able to use as they reflect on particular examples of the process of science, past and present.

Key words: history of science, nature of science; philosophy of science, VNOS.

1. INTRODUCTION

For the past several years we have been exploring an instrumental approach to the use of history in the science classroom (Rudge & Howe, 2009a). By “instrumental”, we refer to the fact that our use of history is not motivated primarily from a desire to teach history per se. We have created instructional units loosely based on history so as to place students in a similar problem context to that faced by past scientists (Allchin, 1993). Our primary goal throughout is to engage students by directly addressing the alternative views they bring into our classroom about biological phenomena and issues associated with the nature of science.

One example is used during the evolution unit of an introductory biology class for future elementary teachers, in which students encounter “The Mystery Phenomenon” (the phenomenon of industrial melanism). Students are presented with observations that

* Biological Sciences & The Mallinson Institute for Science Education, Western Michigan University (Email: david.rudge@wmich.edu)

** Department of Education, Assumption College (Email: emhowe@assumption.edu)

historically led naturalists to recognize a pattern in nature (dark moths were becoming more common in the vicinity of manufacturing sites). Initial student attempts to account for the pattern often reveal misconceptions they have about evolutionary phenomena, such as the possibility exposure to soot might directly cause moths to mutate to the darker color. These misconceptions superficially resemble views held historically for different reasons. Rather than ignoring or rejecting these views as false, we explicitly draw attention to how their views resemble those held by past scientists. The class explores how scientists, working from different theoretical perspectives, came up with very different ways of accounting for the mystery phenomena: e.g. moths have a natural ability to become darker when they need to; exposure to toxins in the soot might lead moths to mutate to the darker form; or the dark form is becoming more common because being dark camouflages it when it rests on soot darkened tree trunks. With these examples in mind, students are explicitly asked to consider and reflect on what theories are in science and how scientists choose among alternatives. We then have students consider how they might test between the alternative explanations regarding the mystery phenomenon. Students predictably come up with the sorts of observations and experiments that were historically used by past scientists. We supply students with simplified summaries of the results of these investigations. In each case, students find that the results are ambiguous. With these examples in mind, students are explicitly asked to consider and reflect on what experiments are in science and how they are interpreted. Students then view a brief film (Kettlewell's *Evolution in Progress*) that documents how birds, when presented with a choice, pass over camouflaged moths in favor of the more conspicuous form.

This provides a temporary sense of closure, until we reveal the rest of the story. We draw attention to numerous problems surrounding Kettlewell's historic investigations in the early 1950s. Our goal is not to disabuse students of the idea that the mystery phenomena should be understood in terms of natural selection (Kettlewell's basic conclusion has been independently confirmed at least seven times since). Rather, we want our students to recognize how misleading textbook accounts can be: every fact in science has a story behind it.

We have attempted to document the efficacy of this unit (and a longer unit Eric Howe designed based upon the history of research on sickle-cell anemia) with respect to several issues associated with the nature of science using the VNOS protocol (Lederman *et al.*, 2002). This has included several pilot studies (Rudge; Geer & Howe, 2007) and two relatively large-scale studies involving over 100 students each (Howe & Rudge, 2005; Rudge & Howe, 2009b). A number of recent articles have raised concerns about the adequacy of the VNOS instrument as a means of documenting change in student views on the nature of science. In the present essay, we draw attention to additional problems associated with the VNOS protocol itself. We begin by first briefly reviewing the context within which the VNOS was introduced and the motivations that led Lederman and his group to suggest it. We then review the VNOS protocol and summarize some of the problems that have been raised in the literature concerning its use. We discuss several problems we have encountered using the protocol in our own studies, before reaching our conclusion that the VNOS is inadequate instrument for assessing student understandings of issues associated with the nature of science.

2. CONTEXT OF THE VNOS

Issues associated with the nature of science (NOS) have long been regarded as central to science education reform efforts. During the 1970s, it became clear that the science education community in general and science textbooks in particular were out of date with respect to numerous developments in history and philosophy of science (DeBoer, 1991). A number of proponents of the use of history and philosophy of science for the teaching and learning of science drew attention to the fact that many misconceptions about science reflect fundamental misconceptions about the nature of science. Michael Matthews in particular has also drawn attention to the enormous potential history and philosophy of science has for promoting critical thinking (Matthews, 1994). These developments occurred within a broader educational context that increasingly emphasized the use of standardized testing, assessment and the importance of empirically based approaches to learning. Collectively these developments drew attention to the importance, and indeed necessity, of having a reliable means by which to assess and evaluate student understandings of issues associated with the nature of science.

3. THE VNOS

The VNOS questionnaire (see Appendix A) was initially developed and refined in a series of papers by Norman Lederman and his associates (Lederman & O'Malley, 1990; Lederman; Wade & Bell, 1998; Lederman *et al.*, 2002). The associated VNOS protocol has its origins in these papers, but is perhaps most explicitly first discussed in Abd-el Khalick & Lederman (2000).

Lederman *et al.* (2002) identified as their primary motivation that of developing a valid means of assessing students' understandings of the nature of science, understood as:

“the values and assumptions inherent to science, scientific knowledge, and/or the development of scientific knowledge... including but not limited to, independent of thought, creativity, tentativeness, an empirical base, subjectivity, testability, and cultural and social embeddedness...” (Lederman *et al.*, 2002, p. 331)

Note how on this construal, understanding nature of science is equated with knowledge of certain facts (declarative statements) about science: students need to know that science is tentative, that science involves creativity, that scientific claims must be testable, etc.

In an authoritative summary of previous NOS assessment instruments, Lederman; Wade & Bell (1998) fault previous assessment instruments for relying on easily graded, forced choice items, for lacking a focus on nature of science, and for emphasizing student attitudes toward science. They question whether existing instruments at the time of their writing were adequately validated, and faulted many specific items for being poorly constructed. They drew attention as well to the fact that working with these instruments often depended upon a particular interpretation of NOS, which often reflected a subjective bias on the part of the investigator. Their most pressing concern about previous instruments, however, had to do with what was revealed by interviews of participants—there were often large discrepancies between students' written responses and what they shared when asked to elaborate during interviews.

These considerations led Lederman and his associates to develop the VNOS. Lederman *et al.* (2002) drew attention to what they regarded as multiple advantages of the VNOS. It focuses on 7 NOS tenets for which there is shared agreement among scholars. It uses open-ended questions, rather than forced choice. It emphasized the use of interviews to validate student responses, by both checking that students interpreted the questions as the investigators intended and that investigators were interpreting student responses as they intended.

The associated protocol for use of the VNOS as indicated in Lederman *et al.* (2002) suggests the instrument should be used for pre-assessment purposes during a single class without time limits. Student responses are next analyzed in order to develop profiles for each student. A subset of students who participated in the pre-assessment should then be interviewed to ensure they have interpreted the questions as intended, and researchers are interpreting their responses as they intended. Later, after the intervention, the VNOS survey is used for post-assessment. These responses are similarly analyzed to develop profiles for each student. Again, a subset of students who participated in the post-assessment are invited to be interviewed. (These cannot be the same students who participated in the pre-assessment interviews as this would introduce its own bias.) The interviews are conducted similarly, only this time, the interviewers ask students to also compare their pre- and post- responses. This provides the investigators with an opportunity to ask students if their views changed, and if so, why. Surveys are also provided to an outside consultant, who independently develops profiles for each student. By comparing these, the investigators are able to assess “inter-rater reliability”, i.e. the extent to which their interpretations of student responses to questions are objective and not tinged by personal bias. Ultimately the goal of the analysis is to compare pre- and post- responses so as to assess whether students views have changed along a continuum from more naïve to more informed views.

Lederman and his associates draw attention in particular to the advantages of data generated by the VNOS protocol in contrast to previous standardized convergent paper and pencil NOS assessment instruments:

First, VNOS data explicate what respondents actually think about NOS and the reasons underlying their thinking. Respondent’s reasoning could be examined further during follow-up interviews. Second, given the noncategorical and rich nature of the VNOS responses that their sensitivity to subtle differences in respondents’ views, the VNOS allows assessing (a) changes, even small ones, in learners’ NOS views as a result of instructional interventions; and (b) the interaction between learners’ views and the specifics of the instructional activities undertaken in these interventions from diagnostic and cognitive perspectives. The latter assessment is surely informative in terms of modifying and enhancing the effectiveness of such interventions. (Lederman *et al.*, 2002, pp. 513-517)

As will be shown below, it is far from clear that data provided by the VNOS protocol has either of these two stated advantages.

4. PROBLEMS WITH THE VNOS

For a short period of time, the VNOS became the instrument of choice for research on the teaching and learning of issues associated with the nature of science. This being said, a

number of individuals have criticized the VNOS. Some of these criticisms have been directed against the survey itself, and in particular, how student understanding of nature of science is conceived. Others have focused more on the associated protocol, and in particular, how to interpret the results.

The VNOS questionnaire (example provided in Appendix A) has been the subject of repeated criticism within the literature (Chen, 2006; Clough, 2007; Ford, 2008; Settlage *et al.*, 2005), and it should be noted that even the authors of the VNOS have had concerns about the wording of particular items, as witnessed by the fact that their original paper introducing the VNOS included three different forms, the VNOS-A, B and C (Lederman *et al.*, 2002). [As of the writing of this essay, the authors have introduced still further refinements (VNOS-D and E) intended either to broaden the range of topics discussed, modify the wording for use with elementary students, or tinker with the wording of individual items (Lederman & Khisfe, 2002; Lederman & Ko, 2004).]

4.1 Decontextualized approach

Some of the criticism directed at the VNOS survey instrument has focused on its decontextualized approach to the study of students' views of the nature of science.

Clough (2007) in particular has drawn attention to the fact that this entire approach is at odds with constructivist tenets regarding how people learn. A central tenet of constructivist learning is that students attempt to make sense of the world by virtue of taking what they already know and connecting it to experiences that they perceive. Constructivist teaching therefore advocates the importance of presenting information (facts, concepts, etc.) that is inherently meaningful to the students (i.e. is likely to be information with which students will be able to attach meaning to what they already know). In short, establishing an appropriate context is an essential feature for constructing and assessing knowledge. Thus one concern raised with VNOS-type instruments is that the questions they contain either have no relevant context (e.g. "Is there a difference between a scientific theory and a scientific law?") or that the context provided is something that is foreign to the participants.

Clough (2007) also questions whether understanding of nature of science should be identified as a form of declarative knowledge, and in particular the construal of nature of science as a list of tenets to be memorized. These concerns have been raised by others as well, e.g. Elby & Hammer (2001), Ford (2008). Allchin (2010) has recently pointed out the liabilities of construing issues associated with the nature of science as an arbitrary list of tenets, and further how a simplistic generalization such as "science is tentative" can play into misconceptions about the nature of science, as for instance when it is used by opponents of climate change to generate an image of uncertainty and active debate. Allchin aptly concludes "Students need to be able to interpret scientific practice in particular cases, not abstractly. A short list of principles to memorize or explain is simply inadequate. NOS is not diluted philosophy of science" (Allchin, 2010, p. 591). These considerations echo longstanding criticisms amongst historians and philosophers of science concerning how nature of science is being interpreted and represented in the writings of science educators (Alters, 1997; Eflin; Glennan & Reish, 1999).

4.2 Pragmatic concerns

Others have questioned the adequacy of the VNOS (and other written instruments like it) on pragmatic grounds having to do with assumptions made about the abilities of participants. The short often brief responses made by participants to survey questions may reflect poor writing skills (Aikenhead, 1988; Bell, 2008), and/or lack of time or sufficient motivation (Chen, 2006). Student responses to survey responses are often ambiguous and difficult to interpret (Osborne *et al.*, 2003).

4.3 Additional practical problems associated with the use of the VNOS

Our experience using the VNOS in two large scale investigations has similarly drawn our attention to how unreliable student responses to written questions can be (Rudge & Howe, 2009b; Rudge; Geer & Howe, 2007). In our experience, the interview data did not reassure us about the validity of the VNOS instrument. Instead, it has led us to openly question the validity of student written responses to questions. In our most recent study, for instance, we found that initial coding of student responses was highly unreliable with respect to what was revealed during the interviews. Many students who did not provide examples in their written answers were easily able to do so during the interviews. We found multiple examples of student responses that initially were coded as sophisticated that contrasted with the understanding revealed by the student in the interview. Below is just one example of the discrepancies noted, in this instance with reference to a question regarding the role of imagination and creativity in science:

“Yes, the scientists have to be so creative, if it were not for people thinking out of the box there would not have been as many new discoveries” (Student 116, pre-survey)

“Yes, they use creativity, the [sic] must think out side of the box at times. One never knows what will lead to evidence.” (Student 116, post-survey)

The above written responses were initially scored as indicating no change, because in each case the student vaguely claimed that scientists use creativity and imagination but did not specify which stages and provided no examples. Now compare the foregoing with the interviewee’s responses during the interview:

I: I think we’ve beat it up (laughter). Okay, the last question is, um, based on creativity and imagination. It says, “Scientists perform experiments/investigations when trying to find answers to the questions they put forth. Do scientists use their creativity and imagination during investigations?” What do you believe today?

S: Most definitely.

I: Definitely? Okay, and in what way do they use their creativity? If you look at, um, you can look at this question and kind of refer to that or you can just tell me...

S: Well.

I: ...in what way?

S: For example, this bottle. Is that bottle half full or half empty?

I: Um... what do you think? (Laughter)

S: You know what I mean? It’s like, you look at it here and you see it it’s two-thirds of the way full but if I laid it over here and looked at it, you’re going to see a different perspective. So, you have to be creative in that way that you present your evidence or

how you see things.

I: Okay. And is that the only stage that creativity and imagination is necessary or would you say that creativity is needed throughout the whole research process?

S: Well, it's needed throughout the whole process. I mean, for one, you have to be creative in your question, on what it is you want or are looking for and two, you have to be creative in how you go about gathering the research, you know, you don't just want one, you know, internet stuff, resources. You want resources from books, magazines, articles, journals... so that takes creativity. Uh, you have to be able to express it so you have to be able to transfer your thoughts onto paper, so that takes creativity, organization, planning, collection, uh. And as far as publishing it, granted you can go out and say, "Yeah, this is it" and hold up a piece of paper but if you come up and give out, like, a motivational speech, "Yeah, this is it!" you know what I mean, that's going to have more impact than that one, per say, or a hard copy or a piece of paper compared to a powerpoint or what have you.

I: Okay.

S: So, yes.

I: Okay...

S: In all aspects, all the time.

I: Okay. Did you want to add to that or, um, did you want to add any examples here? I noticed in your pre- and post-survey, I don't see any specific examples...

S: The one I just listed is fine." (Student 116, interview)

What is particularly telling is the interviewee's claim, at the end of the above transcript, that an example has been given during the interview, when in point of fact no example has been given. This may reflect a semantic issue: some of the participants apparently interpreted a request for an example as a request for an abstract example rather than a specific example. And indeed, for several of the questions, such as the challenge posed by a question regarding whether experiments are always necessary, it is altogether understandable why students would provide a vague example, such as a scientist might make an observation, as their counter-example.

Interestingly, we also discovered on multiple occasions that interviewees, whose pre- and post- instructional responses were coded differently (suggesting change had occurred), outright denied their views had changed. While one might argue that such a student might not consciously be aware of a change in his or her views, this completely undercut the follow up question of most interest to us, namely, "What led you to change your views?" In a couple of instances the interviewer pressed the student by asking him/her to clarify why the wording on the response was changed, pre vs. post. But this invariably led students to focus on what they were thinking at the time they filled out the post survey, not what happened in class that might have led them to change their views.

This brings us to a fundamental problem with the potential usefulness of the VNOS survey as an assessment instrument for the improvement of instruction. While the survey itself may have the potential to track whether change has occurred, it is extremely limited in providing insight into why change has occurred. None of the questions prompt the student to reflect why his/her views have changed, which is understandable in that the exact same instrument is administered both pre- and post- instruction. So the only way the written survey responses

alone could reveal anything about why a student's views changed is by his/her choice of examples, and in particular, if the example was one mentioned in class. This underscores the importance of the interviews, because it is during the interviews that the interviewer gets to press the student on why his or her views changed. Our experiences in two large scale studies have led us to conclude that the interviews do not serve this function well. Many of the interviewed participants denied their views had changed, and even when they did acknowledge a change had taken place, they were unable to make more than vague references to what happened in class.

Beyond this, we also have practical concerns about the VNOS protocol itself. The suggested initial analysis of responses to the pre-assessment use of the VNOS instrument in isolation from post-assessment responses potentially introduces a bias, because the researcher is aware that he/she is examining pre-assessment responses and therefore may be inclined to regard them as more naïve (and post-assessment responses as more sophisticated). We don't see the point of interviewing students after the pre-assessment use of the VNOS survey at all. Every bit of information one would get about whether students are interpreting the questions as we intended and we are interpreting their responses as they intended can be gained during the post-interviews. Interviewing after the pre-assessment only serves to reduce the available number of interviewees after the post-assessment use of the VNOS. We also question the legitimacy of modifying how a student's written responses are interpreted in light of their responses during the interview, with the ultimate end of comparing pre- and post- written responses in the aggregate for all students. The interviews provide an indication of how reliable the written responses are for a particular student. Making gross comparisons of aggregate data, some of which has been modified in light of the interviews, others of which have not, seems patently suspect. Finally, we do not see the point of developing summary profiles for each student, as the comparisons ultimately drawn are between student responses to individual questions, pre and post.

5. CONCLUSION

The foregoing considerations have led us to conclude that the VNOS is in principle incapable of assessing student views about issues associated with the nature of science. Much of our concern has to do with identifying understanding the nature of science in terms of an arbitrary small set of declarative claims about science in general. Understanding the nature of science should be thought of instead in terms of a set of critical thinking skills students should have in order to gain insight into the strengths and limitations of particular examples of science (both past and present). But even if one agreed that knowing such things as the distinction between theories and laws was an essential claim about science a student must know in order to be considered as having a sophisticated understanding of the nature of science, the foregoing essay has documented numerous practical reasons for why the VNOS survey and its associated protocol are wholly inadequate to the task of assessing student understandings.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Dr. Cibelle Celestino Silva for inviting us to present at the *8th*

International Congress on the History of Science in Science Education (8th ICHSSE) and attend the first ever *IHPST Latin American Regional Conference (IHPST-LA)*, both held at Maresias, Brazil 16-21 August 2010. We also greatly appreciate comments and advice presented to us by participants on an earlier draft of this paper.

APPENDIX A: VNOS- FORM B SURVEY (LEDERMAN ET. AL., 2002)

1. After scientists have developed a theory (e.g. atomic theory), does the theory ever change? If you do believe that theories do change, explain why we bother to teach scientific theories. Defend your answer with examples.
2. What does an atom look like? How certain are scientists about the structure of the atom? What specific evidence do you think scientists used to determine what an atom looks like?
3. Is there a difference between a scientific theory and a scientific law? Give an example to illustrate your answer.
4. How are science and art similar? How are they different?
5. Scientists perform experiments/investigations when trying to solve problems. Other than the planning and design of these experiments/investigations, do scientists use their creativity and imagination during and after data collection? Please explain your answer and provide examples if appropriate.
6. Is there a difference between scientific knowledge and opinion? Give an example to illustrate your answer.
7. Some astronomers believe that the universe is expanding while others believe that it is shrinking; still others believe that the universe is in a static state without any expansion or shrinkage. How are these different conclusions possible if all of these scientists are looking at the same experiments and data?

BIBLIOGRAPHY REFERENCES

- ABD-EL KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **37** (10): 1057-1095, 2000.
- AIKENHEAD, Glen. An analysis of four ways of assessing student beliefs about STS topics. *Journal of Research in Science Teaching* **25**: 607-629, 1988.
- ALLCHIN, Douglas. Of squid hearts and William Harvey: corrupting history to teach circulation and the process of science. *The Science Teacher* **60** (7): 26-33, 1993.
- . The nature of science: from test tubes to YouTube. *American Biology Teacher* **72** (9): 591-593, 2010.
- ALTERS, Brian. Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching* **34** (1): 39-55, 1997.
- BELL, Randy. *Teaching the nature of science through process skills*. Boston: Allyn & Bacon, 2008.
- CHEN, Sufen. Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes towards teaching science. *Science Education* **90** (5): 803-819, 2006.
- CLOUGH, Michael. Teaching the nature of science to secondary and post-secondary students: questions rather than tenets. *The Pantaneto Forum* **25**, 2007. Available in: <www.pantaneto.co.uk/issue25/clough.htm>. Accessed: 26 Sep 2013.

- DEBOER, George. *A history of ideas in science education: implications for practice*. New York: Teachers College, 1991.
- EFLIN, Juli; GLENNAN, Stuart; REISH, George. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching* **36** (1): 107-116, 1999.
- ELBY, Andrew; HAMMER, David. On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education* **85**: 554-567, 2001.
- FORD, Michael. Grasp of practice as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. *Science & Education* **17**: 147-177, 2008.
- HOWE, Eric; RUDGE, David. Recapitulating the history of sickle-cell anemia research: improving students' NOS views explicitly and reflectively. *Science & Education* **14** (3-5): 423-441, 2005.
- LEDERMAN, Judith; KHISHFE, Rola. *Views of nature of science, Form D. Unpublished paper*. Chicago: Illinois Institute of Technology, 2002.
- LEDERMAN, Judith; KO, Eun. *Views of nature of science, Form E. Unpublished manuscript*. Chicago: Illinois Institute of Technology, 2004.
- LEDERMAN, Norman; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy; SCHWARTZ, René. Views of nature of science questionnaire: toward a valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **39**: 497-521, 2002.
- LEDERMAN, Norman; O'MALLEY, Molly. Students' perceptions of tentativeness of science: development, use, and sources of change. *Science Education* **74**: 225-239, 1990.
- LEDERMAN, Norman; WADE, Philip; BELL, Randy. Assessing understanding of the nature of science: a historical perspective. *Science & Education* **7**: 595-615, 1998.
- MATTHEWS, Michael. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- OSBORNE, Jonathan; COLLINS, Sue; RATCLIFFE, Mary; MILLAR, Robin; DUSCHL, Richard. What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* **40**: 692-720, 2003.
- SETTLAGE, John ; SOUTHERLAND, Sherry; JOHNSTON, Adam; SOWELL, Scott. Perhaps triangulation isn't enough: a call for crystallization as a methodological referent in NOS. TERC Documents. Paper 1, Pp. 1-17, Available in: <http://digitalcommons.uconn.edu/terc_docs/1>. Accessed: 26 Sep 2013.
- RUDGE, David; GEER, Uric; HOWE, Eric. But is it effective? Assessing the impact of a historically-based unit. In: NINE INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY & SCIENCE TEACHING CONFERENCE, June, 2007, Calgary, Canada. *Proceedings...* Calgary: University of Calgary, 2007. Pp. 1-24. Available in: <www.ucalgary.ca/ihpst07/abstracts_thu.htm>. Accessed: 26 Sep 2013.
- RUDGE, David; HOWE, Eric. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education* **18** (5): 561-580, 2009 (a).
- . A study on using the history of industrial melanism to teach the nature of science. 10 INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY & SCIENCE TEACHING CONFERENCE, June, 2009 (b), South Bend, Indiana. *Proceedings...* Bend: University of Notre Dame, 2009 (b). Pp. 1-31. Available in: <www.nd.edu/~ihpst09/papers/Rudge%20MS.pdf>. Accessed: 26 Sep 2013.

COMPARAÇÃO DAS FERRAMENTAS VNOS-C E VOSE PARA OBTENÇÃO DE CONCEPÇÕES DE ALUNOS DO IB/USP ACERCA DA NATUREZA DA CIÊNCIA

João Paulo Di Monaco Durbano*

Maria Elice Brzezinski Prestes**

Resumo: Esta pesquisa objetivou comparar duas ferramentas disponíveis na literatura da área de Ensino de Ciências que foram planejadas para investigar as concepções de estudantes sobre a Natureza da Ciência (NdC). Trata-se do questionário VNOS-C, desenvolvido por Norman Lederman; Fouad Abd-El-Khalick; Randy Bell & René S. Schwartz, em 2002, e do questionário VOSE, desenvolvido por Sufen Chen, em 2006. A comparação dos instrumentos foi feita para avaliar aspectos práticos como o tempo de resposta e quais aspectos de NdC contemplam. Além disso, a pesquisa focalizou as respostas dos alunos nos dois questionários sobre a participação da imaginação e criatividade na ciência. Os dois questionários foram aplicados em alunos ingressantes do Curso de Ciências Biológicas do IB/USP em duas etapas, no início e no final do semestre letivo. Os resultados mostram que os questionários diferem em alguns dos aspectos da NdC abordados, não há diferenças significativas quanto ao tempo de aplicação dos questionários e é possível observar mudanças nas concepções dos alunos quanto à participação da imaginação e criatividade na ciência quando comparadas as duas etapas da pesquisa.

Palavras-chave: Natureza da Ciência (NdC); ferramentas de NdC; História da Ciência, Ensino de Ciências

COMPARISON OF TOOLS VNOS-C AND VOSE TO OBTAIN VIEWS OF STUDENTS FROM IB / USP ABOUT THE NATURE OF SCIENCE

Abstract: This research aimed to compare two tools available in the literature in the area of Science Education that were designed to raise students conceptions about the Nature of Science (NOS). This is the questionnaire VNOS-C, developed by Norman Lederman, Fouad Abd-El-Khalick, Randy Bell e René S. Schwartz, in 2002, and questionnaire VOSE, developed by Sufen Chen in 2006. The comparison of the instruments was made to evaluate practical aspects such as response time and what NOS aspects' are contemplate. Moreover, the

* Mestre em Biologia–Genética do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Email: joaodurbano@usp.br.

** Departamento de Genética e Biologia Evolutiva, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo; Grupo de História e Teoria da Ciência (GHTC), Universidade de São Paulo. Email: eprestes@ib.usp.br

research focused on the students responses on both questionnaires on the participation of imagination and creativity in science. The two questionnaires were applied to students entering the under graduation course of Biological Sciences, IB/USP in the beginning and in the end of the semester. The results show that the questionnaires differ in some aspects of the NOS approach, there are not significant differences regarding the time of application of questionnaires and it is possible to observe changes in students conceptions regarding the contribution of imagination and creativity in science compared to the two stages of the research.

Keywords: *Nature of Science (NOS); NOS tools; History of Science; Science Education*

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho comparou duas ferramentas de pesquisa utilizadas para obtenção das concepções de alunos sobre a Natureza da Ciência (NdC): o VNOS-C, desenvolvido em 2002 por Norman Lederman, Fouad Abd-El-Khalick, Randy Bell e René S. Schwartz, e o VOSE desenvolvido em 2006 por Sufen Chen. Os questionários foram aplicados em duas etapas a alunos ingressantes do Curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB/USP), no início e no final do primeiro semestre letivo de 2010. A pesquisa teve o objetivo de comparar os questionários VNOS-C e VOSE quanto a um aspecto prático de sua aplicação, o tempo de resposta, e quanto às semelhanças e diferenças entre os próprios aspectos de natureza da ciência que são abordados em suas questões. Por fim, um dos aspectos da NdC, presente nos dois questionários, que diz respeito à participação da imaginação e criatividade no processo de construção do conhecimento científico, foi selecionado para análise das respostas dos alunos.

A Filosofia da Ciência ao longo do século XX apontou divergências importantes sobre o modo como entendemos e definimos a ciência. Essas definições foram pautadas de acordo com perspectivas distintas, como as de Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend e outros. Contudo, os desacordos sobre as principais características da NdC dizem respeito a particularidades filosóficas de menor relevância quando se tem em conta o contexto do *ensino* de ciências. Nessa perspectiva, Lederman parece ter razão ao afirmar que “há mais consenso do que desentendimentos” sobre aspectos de NdC que devem ser explorados no ensino de ciências (Lederman, 2007, p. 832). Nesta pesquisa, foram levados em consideração os aspectos de Natureza da Ciência destacados pelos autores dos dois questionários aqui testados e comparados, conforme será exposto adiante.

Há diversas justificativas apresentadas na literatura para que os professores de ciências ocupem-se em suas aulas não apenas com os conteúdos científicos, mas também com conteúdos metacientíficos como os que são abordados por meio do conceito de Natureza da Ciência (NdC). Assim, qual a importância de se compreender a NdC? Talvez a forma mais concisa de atender a questão de o porquê o entendimento sobre a NdC é importante é retomar os cinco argumentos fornecidos por Rosalind Driver, John Leach, Robin Millar e Philip Scott, já relatados por Lederman (2007). Segundo eles, o entendimento sobre NdC ajuda ou é necessário segundo a perspectiva:

- **Utilitarista:** para a ciência fazer sentido e para habilitar ao gerenciamento dos objetos e processos tecnológicos na vida cotidiana.

- **Democrática:** para a tomada de decisões esclarecidas sobre questões sócio-científicas.
- **Cultural:** para apreciar o valor da ciência como parte da cultura contemporânea.
- **Moral:** para desenvolver uma compreensão das normas da comunidade científica que incorporam os compromissos morais que são de interesse geral e valor para a sociedade.
- **Econômica:** para qualificar os cientistas a manterem e desenvolverem o processo industrial, do qual a prosperidade nacional depende (Driver; Leach; Millar & Scott, 1996, p. 23).

A compreensão do modo pelo qual a ciência é produzida, e que mais recentemente vem sendo traduzida pela literatura de ensino de ciências pela expressão “Natureza da Ciência”, não é uma novidade. Vem sendo defendida como um objetivo importante para estudantes de ciências há cerca de 100 anos (Lederman, 2007, p. 831). De fato, os propositores da utilização da História da Ciência em cursos científicos defendem desde há muito tempo que ela constitui uma forma privilegiada de trabalhar com os estudantes os aspectos relacionados ao modo como a ciência é produzida, por fornecer dados sobre os quais é possível ampliar a reflexão crítica sobre o fazer científico (Martins, 1990). O reconhecimento da importância da História da Ciência no aprimoramento das concepções de alunos e professores sobre a NdC, em especial mediante estratégias de formação que fazem uso de abordagens explícitas, foi um dos elementos que motivou a presente pesquisa.

Além das justificativas acima mencionadas, há outra que nos parece particularmente relevante. A discussão sobre NdC auxilia no processo de alfabetização científica (Krasilchik & Marandino, 2004). A preocupação em promover uma alfabetização científica é uma exigência urgente da sociedade atual, um fator essencial do desenvolvimento das pessoas e dos povos. Essa importância exige a ampliação dos estudos que visam atingir tal objetivo e que identifiquem os obstáculos que se opõem à sua execução de forma adequada (Cachapuz, 2005, pp. 25-29).

Os livros didáticos têm sua parcela de responsabilidade nessa questão, uma vez que a história da ciência que propagam normalmente é simplificada, distorcida e induz a visões equivocadas acerca da NdC (Martins, 1990, p. 4; Pagliarini, 2007, p. 21). Essa limitação pode interferir no objetivo de ensinar para a alfabetização científica almejada (Charles, 2000).

Portanto, se almejamos um aluno consciente do mundo em que vive e apto a compreendê-lo, precisamos formar professores capazes de discutir não só os conteúdos do conhecimento científico, mas também sobre como esses conhecimentos são construídos. Se o objetivo da formação de professores de ciências é prepará-los para promover a alfabetização científica, então conteúdos referentes à NdC devem ser parte integrante dos currículos de formação de professores (Charles, 2000). Apesar da presença crescente dessas opiniões na literatura da área, ainda é necessário um maior número de investigações empíricas que avaliem os efeitos desse tipo de abordagem no ensino, o que motivou a presente pesquisa.

2. INSTRUMENTOS DE NDC

Nas últimas décadas, questionários quantitativos e qualitativos têm sido desenvolvidos e utilizados na condução de pesquisas relacionadas ao levantamento das noções acerca de NdC em diferentes públicos. Após o final dos anos 1980, os estudos sobre a NdC deixaram de ser

exclusivamente quantitativos e passaram a focalizar aspectos qualitativos, somando aos questionários já existentes outras ferramentas mais adequadas a esse tipo de abordagem, como debates em pequenos grupos, entrevistas, revisões de planos de aula, observações de salas de aula e de professores, mapas conceituais. Os próprios questionários passaram a ser compostos por questões abertas, voltadas, portanto, a abordagens qualitativas. Esse é o caso do questionário desenvolvido por Norman Lederman & Meichtry O'Malley, em 1990, que pode ser considerado a ferramenta mais usada atualmente sobre as visões acerca da NdC, o questionário VNOS, sigla em inglês de *Views on Nature of Science* (Visões da Natureza da Ciência).

O primeiro VNOS desenvolvido por Norman Lederman e colaboradores foi a versão VNOS-A. O VNOS-A é voltado para alunos do ensino médio e composto de sete questões abertas, nas quais, cada uma das questões incide sobre um aspecto diferente da Natureza da Ciência. Posteriormente, outras variantes do questionário foram desenvolvidas o que possibilitou a criação do VNOS-B, C, D, E, concebidos para concentrar-se em diferentes aspectos da NdC voltadas a diferentes públicos.

Nesta pesquisa, foi tomada para análise uma dessas versões, que é o VNOS-C, da sigla em inglês de *Views of the Nature of Science, Form C* (Visões da Natureza da Ciência – Modelo C), desenvolvida por Norman Lederman, Fouad Abd-El-Khalick, Randy Bell e René S. Schwartz, em 2002. O VNOS-C foi desenvolvido para avaliar as concepções de professores do ensino fundamental e médio, constituindo-se em ferramenta adequada para ser utilizada junto à formação de futuros professores da área científica. Como os demais VNOS, é um questionário elaborado e validado por pesquisadores com ampla experiência em investigações sobre o tema.

Outra ferramenta desenvolvida para avaliar conhecimentos sobre NdC é a VOST, sigla em inglês de *Views on Science-Technology-Society* (Visões de Ciência-Tecnologia-Sociedade), elaborada por Glen Aikenhead & Alan Ryan em 1992, de natureza quantitativa, composto por questões fechadas.

Um exemplo de questionário que foi desenvolvido unindo questões abertas e fechadas é o SUSSI, sigla em inglês de *Student Understanding of Science and Scientific Inquiry* (Compreensão dos Estudantes sobre Ciência e Investigação Científica), desenvolvido por Ling L. Liang e colaboradores em 2006. Esse questionário foi aplicado junto a alunos do ensino básico e superior, por professores de disciplinas científicas nos Estados Unidos, China e Turquia (Liang *et al.*, 2006, p. 22).

Em 2006, Sufen Chen desenvolveu um questionário denominado VOSE do inglês, *Views on Science and Education Questionnaire* (Questionário de Noções sobre Ciência e Educação), constituído de questões fechadas. O questionário VOSE envolve uma grande variedade de tópicos relacionados com a NdC que a autora considera particularmente relevantes para a educação científica (Chen, 2006, p. 805). Sendo o exemplo mais diverso do VNOS-C, por suas questões fechadas, relacionadas a um maior número de aspectos da NdC, o VOSE também foi tomado como objeto de análise desta pesquisa.

O breve levantamento acima indica que já foram desenvolvidas várias ferramentas para pesquisar as visões dos estudantes acerca da Natureza da Ciência. Naturalmente, a escolha pela aplicação de um dado questionário, tal como se apresenta ou sofrendo adaptações, deve ser pautada pelos objetivos de cada pesquisa ou prática pedagógica que se pretenda, levando-se em consideração os diferentes públicos e diferentes faixas etárias: estudantes de diferentes níveis de ensino básico e superior, professores em exercício, professores em formação, pesquisadores de Ensino de Ciências, pesquisadores de áreas científicas. Os questionários podem servir tão somente como pontos de referência para que professores e pesquisadores desenvolvam novas modalidades didáticas para o mesmo fim.

Deve-se levar em conta, ainda, que o uso desses questionários não é isento de críticas. Douglas Allchin, por exemplo, questiona a validade desses instrumentos por não acreditar que eles sejam capazes de revelar as “habilidades do pensamento crítico e analítico dos alunos, fundamental para a alfabetização científica” (Allchin, 2010, p. 22). Entre outros aspectos, o autor alerta para o fato de que os questionários podem tornar-se conteúdo novo a ser memorizado e não verdadeiramente compreendidos pelos estudantes, que se esforçariam em fornecer as respostas esperadas no pós-teste. Certamente, tal risco existe e deve ser levado em conta, de modo a ser evitado, quando tais ferramentas forem utilizadas, para além do propósito de pesquisa, como instrumentos para fomentar a discussão de aspectos de NdC com estudantes.

Em que pesem as limitações e dificuldades da utilização dos questionários, nesta pesquisa partiu-se do pressuposto de que eles fornecem dados empíricos sobre as concepções dos alunos, contribuindo para a pesquisa em ensino de ciências, ao mesmo tempo em que fornecem pistas para o professor sobre o modo pelo qual os estudantes concebem a ciência. Utilizados para a realização de sondagens de concepções prévias, possibilitam o desenvolvimento de estratégias de ensino mais efetivas e contextualizadas para o ensino de NdC, concomitantemente ao ensino do conteúdo científico. Aplicados ao final de uma intervenção didática, podem fornecer dados para uma avaliação da mesma de modo a balizar o trabalho futuro, e orientar o desenvolvimento de concepções mais complexas da NdC entre os alunos, como é almejado pela educação em ciências na atualidade.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA EMPÍRICA

Como mencionado anteriormente, nesta pesquisa foi realizado um estudo comparativo dos questionários VNOS-C e VOSE. O questionário VNOS-C aqui utilizado foi a tradução e adaptação realizada por Charbel El-Hani e Eraldo Tavares e Pedro Rocha (2004), composto por 11 questões abertas. Por já ter sido aplicado em pesquisa realizada no Brasil, seriam permitidas correlações com os resultados encontrados no presente estudo, dentro de um contexto de diversas similaridades (estudantes brasileiros, de ensino superior, de cursos de Ciências Biológicas, de Universidades públicas).

O questionário VOSE foi desenvolvido por Sufen Chen, em 2006, e traduzido do inglês para o português pelos autores desta pesquisa. Ele é constituído de 85 itens de análise, que são afirmações sobre os aspectos pesquisados, divididos em 15 questões, segundo escala de Likert. A escolha da ferramenta VOSE também ocorreu pelo fato da escala Likert ser facilmente administrada e compreendida pelos alunos (Malhotra, 2006, p. 265). Escolhemos

esse questionário também por ser um instrumento de coleta de dados quantitativos, que serviriam de comparação aos dados qualitativos obtidos a partir do VNOS-C.

Os questionários foram aplicados a alunos matriculados no 1º semestre do Curso de Ciências Biológicas do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, em duas turmas, uma do período noturno e a outra do período integral, e em duas etapas, no início e no final do semestre letivo. Cerca de metade da turma, selecionada aleatoriamente, respondeu ao VNOS-C e a outra metade ao VOSE, repetindo-se o mesmo questionário para os mesmos alunos no final do semestre. Em todos os casos, o tempo máximo para devolução dos questionários respondidos foi de 50 minutos. A participação na pesquisa foi voluntária e mediante assinatura de Termo de Consentimento Esclarecido.

A escolha da aplicação dos questionários a esses alunos deveu-se a particularidades da grade curricular desse semestre letivo do Curso de Ciências Biológicas. Além de disciplinas específicas de Biologia, são oferecidas disciplinas que nos parecem atender aos objetivos de promoção de um ensino contextual das ciências, como é o caso das disciplinas “Filosofia da Ciência”, “Antropologia da Ciência”, “Fauna, Flora e Ambiente” e “Genética”. Elas abordam aspectos que podem promover um ensino *sobre* ciência, pois tratam, respectivamente, de temas da filosofia da ciência, da antropologia da ciência, das relações ciência, tecnologia e sociedade e da história da genética.

Outro fator importante na escolha da aplicação da pesquisa junto aos alunos do primeiro semestre foi o de possibilitar conhecer as noções sobre ciência que trazem do Ensino Médio e começam a transformar nesse início de sua formação superior numa das diversas áreas da ciência, no caso, a Biologia.

3.1 Etapas da pesquisa empírica

Primeiramente, foi feita uma análise dos aspectos de NdC discutidos pelos autores em cada questionário. Em seguida, os questionários foram comparados entre si, buscando-se verificar quais componentes da NdC são abordados em ambos.

Após a aplicação dos questionários, foi realizada a comparação do tempo que os alunos utilizam para responder aos questionários. Embora pareça banal, esse aspecto é de importância fundamental para a escolha do questionário a ser utilizado em situações concretas de sala de aula, nas quais são impostas limitações derivadas da organização da grade curricular. Estes dados foram levantados por meio da anotação dos tempos de resposta inicial e final de cada questionário, nas duas etapas de aplicação.

Por fim, foi realizada uma comparação do modo pelo qual os dois questionários avaliam a compreensão dos alunos sobre um dos aspectos da NdC, a saber, a utilização da imaginação e criatividade na produção do conhecimento científico. Para esse fim, foram analisadas as respostas fornecidas na décima questão do questionário VNOS-C e na terceira questão do questionário VOSE, apresentadas no quadro abaixo:

Quadro 1: Décima questão do questionário VNOS-C e terceira questão do questionário VOSE.

Décima questão do VNOS-C: Os cientistas realizam experimentos/investigações científicas quando estão tentando encontrar respostas para as questões que eles propuseram. Os cientistas usam sua criatividade e imaginação durante suas investigações?				
(a) Se sim, então em que estágios das investigações você acredita que os cientistas utilizam sua imaginação e criatividade: projeto e planejamento; coleta de dados; após a coleta de dados? Por favor, explique por que os cientistas usam a imaginação e a criatividade. Forneça exemplos se for apropriado.				
(b) Se você acredita que cientistas não usam a imaginação e a criatividade, por favor, explique por que. Forneça exemplos se for apropriado.				
Terceira questão do VOSE: Quando os cientistas estão conduzindo uma investigação científica, eles usam sua imaginação?				
(A) Sim, a imaginação é a principal fonte de inovação.	DT	DP	CP	CT
(B) Sim, os cientistas usam um pouco da sua imaginação na investigação científica.	DT	DP	CP	CT
(C) Não, a imaginação não é coerente com os princípios lógicos da ciência.	DT	DP	CP	CT
(D) Não, a imaginação pode se tornar um meio para um cientista provar seu ponto de vista a todo custo.	DT	DP	CP	CT
(E) Não, a imaginação não tem confiabilidade.	DT	DP	CP	CT

*DT=discordo totalmente; DP=discordo parcialmente; I=Incerto ou nenhum comentário;
CP=concordo parcialmente; CT=concordo totalmente

Essas questões foram escolhidas por abordarem de maneira explícita a participação da imaginação e criatividade na ciência, embora outras questões de ambos os questionários também propiciem reflexões sobre esse aspecto.

As duas etapas de aplicação dos questionários (início e fim do semestre) geraram a soma de dezesseis (16) alunos que responderam ao questionário VNOS-C, totalizando trinta e dois (32) questionários nas duas etapas, e vinte e oito (28) alunos que responderam ao questionário VOSE, totalizando cinquenta e seis (56) questionários respondidos nas duas etapas.

4. COMPARAÇÃO DO TEMPO NECESSÁRIO PARA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

Como mencionado acima, foram coletados dados sobre o tempo de resposta de cada questionário por acreditarmos ser necessário o conhecimento aproximado dessa variável na hora de os professores planejarem a sua aplicação. Quanto ao tempo de duração do primeiro e do último aluno a devolver o questionário respondido, em cada uma das etapas (Tabela 1):

Nas duas etapas de aplicação do questionário observamos que a ferramenta VOSE foi entregue com um menor tempo de resposta do que o VNOS-C, havendo uma diferença mais acentuada na segunda etapa. Com exceção desse menor tempo do VOSE na segunda etapa, não foram observadas diferenças significativas entre o menor e maior tempo de duração de resposta dos dois questionários.

Tabela 1. Tempos de resposta para os questionários VOSE e VNOS-C.

VOSE		
	PRIMEIRA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
Primeiro a entregar	18 min	9 min
Último a entregar	43 min	49 min
VNOS-C		
	PRIMEIRA ETAPA	SEGUNDA ETAPA
Primeiro a entregar	20 min	19 min
Último a entregar	45 min	50 min

Os tempos de resposta registrados nesta pesquisa para o VOSE, nas duas etapas, diferiram dos tempos obtidos por Sufen Chen. A pesquisadora registrou que os participantes demoraram aproximadamente 15 minutos para responder o questionário, contrastando com os nossos tempos de 18min a 43min (1ª etapa) e 9min a 49min (2ª etapa). É difícil supor as razões da diferença encontrada entre a presente pesquisa e a de Chen, mas é possível levantar ao menos uma suspeita. No caso presente, os questionários foram aplicados durante aula cedida pelos professores da disciplina de Genética, de modo que é possível que os alunos tenham considerado que teriam todo aquele intervalo de 60 minutos para finalizar a tarefa.

O tempo mínimo registrado nesta pesquisa para o VNOS-C, em ambas as etapas, também contrastou com o registrado por Norman Lederman para o mesmo questionário. Na sua pesquisa, foram gastos entre 45-60 minutos para que os alunos respondessem ao questionário (Lederman, 2002, p. 511), em contraste aos nossos 20min e 19min. Não conhecemos a extensão das respostas na pesquisa de Lederman, mas é possível atribuir o intervalo menor de tempo na presente pesquisa devido à pequena extensão das respostas fornecidas.

5. COMPARAÇÃO DOS COMPONENTES DA NDC

No que diz respeito a Lederman, verificamos que, em 2007, o autor apresentou uma discussão ligeiramente diferente em relação a aspectos da NdC mencionados em artigo de 2002. Após análise comparativa das duas propostas, transcrevemos abaixo a formulação mais recente do autor, à qual acrescentamos títulos indicativos de cada aspecto. Assim, segundo Lederman, são os seguintes aspectos da NdC a serem trabalhados no ensino de ciências:

1. **Observação e inferência.** Observações são afirmações descritivas sobre um fenômeno natural que são 'diretamente' acessíveis aos sentidos [...]. Inferências, por outro lado, vão além dos sentidos [...]. (Lederman, 2007, p. 833)
2. **Distinção entre leis e teorias.** Leis e teorias são tipos diferentes de conhecimento, e um não se transforma em outro. Leis são afirmações ou descrições das relações entre fenômenos observados. [...] Teorias são explicações inferidas para fenômenos observáveis. (Lederman, 2007, p. 833)
3. **A imaginação e criatividade fazem parte da ciência.** Embora o conhecimento científico seja, ao menos parcialmente, baseado em ou derivado de observações do mundo natural (isto é, empírico), ele envolve, contudo, imaginação e criatividade humana. (Lederman, 2007, p. 834)

4. **O conhecimento científico é subjetivo e/ou determinado por teoria.** Os compromissos, crenças, conhecimentos prévios, treinamento, experiências e expectativas dos cientistas influenciam o seu trabalho [...] esta individualidade (às vezes coletiva) que diz respeito ao papel da subjetividade na produção do conhecimento científico [...]. (Lederman, 2007, p. 834)
5. **A ciência sofre influência cultural.** Compreensão de que a ciência é um empreendimento humano praticado no contexto mais amplo da cultura e seus praticantes (cientistas) são produtos dessa cultura. Segue-se que a ciência afeta e é afetada pelos vários elementos e esferas intelectuais da cultura em que está inserida [...]. (Lederman, 2007, p. 834).
6. **O conhecimento científico nunca é absoluto ou certo.** Como consequência dos itens anteriores, a compreensão de que a ciência nunca é absoluta ou certa. Esse conhecimento, incluindo “fatos”, teorias e leis, é sujeito a mudança. As afirmações científicas mudam na medida em que novas evidências, obtidas por meio de avanços na teoria e tecnologia, são confrontadas com as teorias e leis existentes [...]. (Lederman, 2007, p. 834)

Além desses aspectos, Lederman chama a atenção para a importância de se fazer a distinção entre a ciência e os processos de investigação científica, de modo que pode ser considerado um sétimo aspecto a considerar-se no ensino:

7. **Distinção entre NdC e investigação científica.** É importante notar que as pessoas muitas vezes confundem a NdC com os processos ou investigação científica. Processos científicos são atividades relacionadas com a coleta, análise de dados e elaboração de conclusões. Por outro lado a NdC refere-se aos fundamentos epistemológicos das atividades da ciência e as características do conhecimento resultante. (Lederman, 2007, p. 835)

Esses aspectos foram comparados com os apresentados no artigo de Sufen Chen (2006) do segundo questionário aqui analisado, o VOSE. Essa comparação permitiu verificar que Sufen Chen indica outro componente da Natureza da Ciência a ser ensinado aos estudantes, de modo que se acrescenta à lista de Lederman um oitavo aspecto:

8. **Validação do conhecimento científico.** Segundo a autora, esse componente diz respeito à aceitação, ou não, de uma teoria pela comunidade científica, de modo que diferentes visões sobre teorias fundamentais determinam o julgamento, pela comunidade científica, de teorias concorrentes. (Chen, 2006, p. 806)

Dessa comparação dos componentes da NdC abordados nos dois questionários, foram selecionados os aspectos que seriam analisados aqui e foram geradas as Tabelas 2 e 3 à seguir.

Na Tabela 2, foram listados, na coluna da esquerda, os seis primeiros aspectos de NdC relacionados por Lederman em 2007, citados acima. Na segunda coluna, foram indicadas as perguntas do VNOS C que, segundo a presente análise, abordam de alguma maneira aqueles aspectos. Essa análise foi pautada pelas respostas obtidas (e não pelas perguntas), pois em se tratando de questões abertas, geraram como era de se esperar, abordagens variadas e por vezes sobrepostas. Daí termos encontrado várias questões (coluna da direita) abordando um mesmo aspecto da NdC, como pode ser observado abaixo:

Tabela 2. Componentes de NdC que identificamos como sendo abordados nas respostas dadas às questões de 1 a 10 do VNOS-C.

Aspectos da Natureza da Ciência e temas relacionados à Ciência	QUESTÕES VNOS-C
Observação e inferência	1, 5, 8
Diferenciação entre leis e teorias	1, 6
Imaginação na construção do conhecimento científico	1, 5, 8, 9, 10
O conhecimento científico é subjetivo e/ou determinado por teorias	1, 2, 9
A ciência sofre influência cultural	1, 11
O conhecimento científico nunca é absoluto ou certo	1, 2, 7

Na tabela 3, foram transcritos alguns dos aspectos de NdC que a própria Sufen Chen relacionou a questões específicas do VOSE. Na coluna da esquerda foram incluídos apenas os aspectos mencionados por Chen que foram considerados mais diretamente relacionáveis aos aspectos abordados no VNOS-C de Lederman, como apresentado acima, de modo a serem gerados sete aspectos no total.

Tabela 3. Componentes de NdC trabalhados no questionário VOSE (Chen, 2006, pp. 811-813).

Aspectos da Natureza da Ciência e temas relacionados à Ciência	QUESTÕES VOSE
Tentativa e erro	4, 12
Natureza da observação	8, 11
Métodos científicos	9, 10
Teorias e leis	5, 6, 7, 13
Uso da imaginação	3
Validação do conhecimento científico	1
Subjetividade e objetividade	1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 14, 15

As duas tabelas permitem observar que, mesmo utilizando nomes diferentes para definir os componentes da NdC trabalhados nos questionários, há grande convergência entre o que foi analisado pelos dois autores nos dois questionários. Mas há diferenças a serem notadas. Sufen Chen não investiga nas questões da ferramenta VOSE a diferença entre observação e inferência, aspecto que foi contemplado nas respostas das questões 1, 5 e 8 do VNOS-C.

As questões 3 e 4 do VNOS-C propiciaram respostas que abordaram tópicos relacionados ao método científico, o que foi feito de modo explícito nas questões 9 e 10 do VOSE. Em 2007, Norman Lederman não relacionou esse aspecto entre os sugeridos para o ensino de ciência.

Apenas o questionário VOSE explora o componente “validação do conhecimento científico”. O VOSE também dedica grande parte para obter conhecimentos que os estudantes consideram relevantes para o ensino de ciência. Esse levantamento pode ser encontrado nas questões 10, 11, 12, 13 e 14.

6. COMPARAÇÃO DAS QUESTÕES SOBRE A PARTICIPAÇÃO DA IMAGINAÇÃO E CRIATIVIDADE NA CIÊNCIA

6.1 Análise da resposta à questão 10 do VNOS-C

A análise das respostas dadas à questão do VNOS-C sobre a participação da imaginação e criatividade na ciência seguiu procedimento proposto por Laurence Bardin (2000), buscando definir dimensões e categorias de análise, conforme descrito a seguir. A análise das respostas gerou as Tabelas 4 e 5, referentes, respectivamente, à primeira e à segunda etapa da pesquisa (início e final do semestre letivo).

As tabelas foram construídas a partir de categorias *a priori*, derivadas diretamente da questão que foi formulada (ver questão 10 do VNOS-C transcrita acima) e que menciona diferentes momentos da pesquisa científica em que a imaginação e criatividade poderiam ser utilizadas pelo cientista. Trata-se da dimensão “quando?” que inserimos na 1ª coluna à esquerda das Tabelas 4 e 5.

Também foram incorporadas categorias novas, elaboradas *a posteriori*, ou seja, a partir das próprias respostas dos alunos. Como se tratava de questão aberta, muitas respostas abordaram a finalidade do uso da imaginação e criatividade pelos cientistas. Trata-se da dimensão “Para que?” discriminada na primeira linha das Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Dimensões e categorias obtidas a partir das respostas à pergunta número 10 do VNOS-C na primeira etapa de aplicação do questionário.

Quando?	Para que?				
	Interpretar os dados	Elaborar teorias e leis	Explicar quando não acham respostas	Discutir a realização da coleta de dados	Nenhuma referência ao motivo do uso
Projeto e planejamento	2*, 13	6, 10, 14, 16		1	15
Coleta de dados		3			5
Após coleta de dados	2, 9	3, 4, 10			11
Todos os estágios		8			
Não diz quando		12	7		

* numeração referente ao número atribuído ao aluno.

Tabela 5. Dimensões e categorias obtidas a partir das respostas à pergunta número 10 do VNOS-C na segunda etapa de aplicação do questionário.

Quando?	Para que?				
	Interpretar os dados	Elaborar teorias e leis	Explicar quando não acham respostas	Discutir a realização da coleta de dados	Nenhuma referência ao motivo do uso
Projeto e planejamento	3*	14			11, 16
Coleta de dados					
Após coleta de dados	2, 10, 15	5, 8			4
Todos os estágios	13	1		13	6
Não diz quando	9	7			12

* numeração referente ao número atribuído ao aluno.

As duas tabelas mostram que, na dimensão que denominamos “Quando?”, – isto é, em qual estágio das investigações os cientistas utilizam sua imaginação e criatividade? – foi observado que a maioria das respostas atribuiu a participação da criatividade e imaginação na produção científica apenas na fase inicial da pesquisa, destinada ao projeto e planejamento, e na final, após a coleta de dados (com uma única exceção na primeira etapa, que desapareceu da segunda etapa da pesquisa, que indicou a etapa intermediária de coleta de dados). No entanto, é preciso notar a inconsistência dessas respostas quando comparadas a que um aluno na primeira etapa e quatro alunos na segunda etapa responderam, considerando que os cientistas utilizam a imaginação em *todas* as etapas de investigação.

Quando observamos os resultados segundo outro ponto de vista, na dimensão que denominamos “Para quê?” – isto é, para quê os cientistas utilizam a imaginação e criatividade? – podemos observar que, na primeira etapa, grande parte dos alunos disse que serve para elaborar teorias e leis. Já na segunda etapa houve um aumento de alunos que disseram que a imaginação e criatividade são utilizadas para interpretar os dados.

Observamos uma pequena mudança nas respostas, quando comparadas as duas etapas de respostas do VNOS-C. Mesmo aceitando a participação da imaginação e criatividade na ciência, nas duas etapas, os alunos apresentaram argumentos diferentes. No entanto, permaneceu majoritária a opinião de que esse aspecto participa apenas no início e no final do processo de pesquisa.

6.2 Análise da questão 3 do VOSE

Para analisar a opinião dos alunos quanto à concordância ou não sobre a participação da imaginação e criatividade na ciência obtida pela ferramenta VOSE, foi estabelecido o *Ranking Médio* (RM) das respostas, a partir da escala de Likert proposta. A partir do RM foi realizada a verificação quanto à concordância ou discordância das questões avaliadas. Para isto, os valores menores que 3 foram considerados como discordantes e os maiores que 3, como concordantes (Malhotra, 2006, pp. 265-267; Oliveira, 2005). Os resultados são apresentados

nas Tabelas 6 e 7, referentes, respectivamente, à primeira e segunda etapas de aplicação do questionário.

Tabela 6. Ranking médio das respostas de cada um dos itens da questão 3 do VOSE, referentes à primeira etapa de aplicação da ferramenta.

PRIMEIRA ETAPA						
QUESTÕES	FREQUENCIA DE SUJEITOS					
A. Sim, a imaginação é a principal fonte de inovação.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	2	4	3	15	4	3,53
B. Sim, os cientistas usam um pouco da sua imaginação na investigação científica.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	0	0	1	16	11	4,35
C. Não, a imaginação não é coerente com os princípios lógicos da ciência.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	12	11	3	2	0	1,82
D. Não, a imaginação pode se tornar um meio para um cientista provar seu ponto de vista a todo custo.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	5	12	4	6	1	2,5
E. Não, a imaginação não tem confiabilidade.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	8	8	8	4	0	2,28

Analisando o RM dos cinco itens nas duas etapas percebemos que eles pouco mudaram. Ou seja, se considerarmos apenas o RM não observaremos mudanças significativas nas duas etapas de aplicação do questionário. Os alunos continuaram concordando com os itens A e B e discordando dos itens C, D e E.

7. CONCLUSÕES

As diferenças de opinião sobre quais aspectos da NdC devem ser abordados no ensino de ciências, conforme apareceram aqui entre os listados por Lederman (2007) e Chen (2002) devem-se, a nosso ver, aos diferentes interesses de pesquisa e/ou prática de ensino. Com esse pressuposto, esta pesquisa não pretendeu valorar os dois questionários analisados quanto aos aspectos de NdC que contemplam. O objetivo foi o de mostrar apenas que cada um privilegia alguns aspectos em detrimento de outros. Com esse dado, cada pesquisador, assim como cada professor, deve escolher um determinado tipo de instrumento de NdC, pautando-se pelos aspectos que julga relevante pesquisar e trabalhar junto aos alunos, em um momento particular do processo de ensino-aprendizagem.

Tabela 7. Ranking médio das respostas de cada um dos itens da questão 3 do VOSE, referentes à segunda etapa de aplicação da ferramenta.

SEGUNDA ETAPA						
QUESTÕES	FREQUENCIA DE SUJEITOS					RM
A. Sim, a imaginação é a principal fonte de inovação.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	0	7	2	15	4	3,57
B. Sim, os cientistas usam um pouco da sua imaginação na investigação científica.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	0	1	1	10	16	4,46
C. Não, a imaginação não é coerente com os princípios lógicos da ciência.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	14	12	1	1	0	1,60
D. Não, a imaginação pode se tornar um meio para um cientista provar seu ponto de vista a todo custo.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	6	8	7	6	1	2,57
E. Não, a imaginação não tem confiabilidade.	DT	DP	I	CP	CT	RM
	11	12	1	4	0	1,92

As diferenças de opinião sobre quais aspectos da NdC devem ser abordados no ensino de ciências, conforme apareceram aqui entre os listados por Lederman (2007) e Chen (2002) devem-se, a nosso ver, aos diferentes interesses de pesquisa e/ou prática de ensino. Com esse pressuposto, esta pesquisa não pretendeu valorar os dois questionários analisados quanto aos aspectos de NdC que contemplam. O objetivo foi o de mostrar apenas que cada um privilegia alguns aspectos em detrimento de outros. Com esse dado, cada pesquisador, assim como cada professor, deve escolher um determinado tipo de instrumento de NdC, pautando-se pelos aspectos que julga relevante pesquisar e trabalhar junto aos alunos, em um momento particular do processo de ensino-aprendizagem.

A verificação do tempo necessário à aplicação dos questionários permitiu observar que é possível utilizar qualquer um dos questionários no tempo previsto de 50 minutos. Desse modo, qualquer um dos dois questionários pode ser aplicado também em aulas do Ensino Médio, que em geral possuem esse tempo de duração nas escolas brasileiras.

Um resultado importante que foi obtido diz respeito a não ter sido observada discrepância significativa entre as respostas fornecidas a um e outro instrumento. Além disso, os dois questionários permitiram observar que, ao longo do semestre, uma parte dos alunos reforçou sua concepção sobre os componentes imaginação e criatividade na ciência, atribuindo maior

participação desses aspectos durante a construção do conhecimento científico. No entanto, no VOSE foi mais expressiva, na segunda etapa, a concordância dos alunos com as questões que atribuíram maior participação da imaginação e criatividade na ciência.

A elaboração de dimensões *a posteriori*, no caso do VNOS-C, em detrimento de utilizar apenas as categorias *a priori*, trouxe maior quantidade de informações para a análise. Ainda com relação às respostas ao questionário VNOS-C, observamos que aumentou o número de alunos que afirmaram que a participação e criatividade estão em todos os estágios da construção do conhecimento científico, o que é considerado um fator positivo para a formação dos estudantes.

A pesquisa mostrou que as ferramentas analisadas, a despeito de críticas que lhes são feitas, são úteis para coletar dados significativos sobre as concepções dos estudantes sobre a Natureza da Ciência e forneceram dados que evidenciam mudanças das opiniões dos alunos ao longo do semestre letivo. Tais mudanças nos parecem relevantes especialmente pelo fato de que os questionários não foram objeto de discussão nas disciplinas do curso, de modo a excluir tendências nas respostas dos alunos induzidas pelos professores, como alertado por Allchin.

Com dados de pesquisas empíricas como esta, espera-se que as discussões sobre os conceitos que os alunos possuem sobre imaginação e criatividade na ciência, entre outros aspectos da NdC, sejam tomados para a elaboração e aplicação de estratégias e programas de ensino, como nas transposições didáticas realizadas a partir de episódios da História da Ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP) Lyria Mori e Carlos Ribeiro Vilela por cederem o tempo necessário para a aplicação dos questionários e a CAPES, pelo apoio na forma de bolsa de mestrado (João P. D. M. Durban).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKENHEAD, Glen S.; RYAN, Alan G. The development of a New Instrument: "Views on science-technology-Society" (VOSTS). *Science Education*, v. 76, n. 5, p. 477-491, 1992.
- ALLCHIN, Douglas. Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. In: *Anais da 8th International Conference for the History of Science in Science Education*, Maresias, p. 16, 2010.
- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. Trad. Luís Antero Reto; Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 2000.
- CACHAPUZ, António; GIL-PEREZ, Daniel; CARVALHO, Anna Maria Pessoa; PRAIA, João; VILCHES, Amparo (org.). *A Necessária Renovação do Ensino das Ciências*. São Paulo: Cortez, 2005.
- CHARLES, Joseph Eick. Inquiry, Nature of Science, and Evolution: The Need for a More Complex Pedagogical Content Knowledge in Science Teaching. *Electronic Journal of Science Education* 4 (3), 2000. Disponível em: <<http://wolfweb.unr.edu/homepage/crowther/ejse/eick.html>>. Acesso em: 25 janeiro 2010.

- CHEN, Sufen. Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. *Science Education* **90** (5): 803-819, 2006.
- Driver, Rosalind; Leach, John; Millar, Robin; Scott, Philip. *Young peoples's images of science*. Lancaster: Open University Press, 1996.
- EL-HANI, Charbel N.; TAVARES, Eraldo J. M.; ROCHA, Pedro L. B. da. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências* **9** (3): 265-313, 2004.
- KRASILCHIK, Myriam; MARANDINO, Martha. *Ensino de ciências e cidadania*. São Paulo: Moderna, 2004.
- LEDERMAN, Norman G.; ABD-EL-KHALICK, Fouad; BELL, Randy SCHWARTZ ; René S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **39** (6): 497-521, 2002.
- LEDERMAN, Norman G.; O'MALLEY, Molly. Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education, John Wiley & Sons, Inc* **74**: 225-239, 1990.
- LEDERMAN, Norman G. Nature of Science: Past, Present, and Future. Pp. 831-880, in: ABELL, Sandra K.; LEDERMAN, Norman G. (eds.). *Handbook of research on science education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- LIANG, Ling L.; CHEN, Sufen; CHEN, Xian; KAYA, Osman N.; ADAMS, April D.; MACKLIN, Monica; EBENEZER, Jazlin. Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and Further Validation of an Assessment Instrument. In: Anais da ANNUAL CONFERENCE OF THE NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, San Francisco, Pp. 38, abril de 2006.
- MALHOTRA, Naresh. *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- MARTINS, Roberto. História da Ciência – Para Quem? *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **9**: 3-5, 1990.
- OLIVEIRA, Luciel Henrique de. *Exemplo de cálculo de Ranking Médio para Likert. Notas de Aula. Metodologia Científica e Técnicas de Pesquisa em Administração*. Varginha, 2005. Dissertação (Mestrado em Administração e Desenvolvimento Organizacional) - Faculdade Cenecista de Varginha.
- PAGLIARINI, Cassiano R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de físicas para ensino médio*. São Carlos, 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ABORDANDO A NATUREZA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA: DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira *

Resumo: Este trabalho discute dificuldades e desafios enfrentados no ensino de aspectos da Natureza da Ciência na disciplina de História e Filosofia da Ciência para licenciandos em física na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Parece ser necessário, embora bastante difícil, abordar tais aspectos na formação dos professores. Seja quando usadas abordagens implícitas desses conteúdos, ou mesmo quando empregadas abordagens explícitas e contextualizadas, tal iniciativa enfrenta dificuldades. Vez ou outra, concepções alternativas desses futuros professores sobre a Natureza da Ciência vêm à tona, o que indica que entender e aceitar concepções mais adequadas envolve uma árdua “negociação” junto a esses indivíduos. Nesse trabalho procuro abordar essas e outras particularidades observadas na prática. Descrevo aspectos do curso ministrado, discuto dificuldades notadas ao longo do semestre, inserindo-as nos recentes debates sobre ensino de conteúdos de Natureza da Ciência. Em seguida, sugiro um possível encaminhamento para fazer face a esses desafios.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, Natureza da Ciência, História da Ciência, formação de professores.

AN APPROACH TO NATURE OF SCIENCE IN PHYSICS TEACHER EDUCATION: CHALLENGES AND PROSPECTS

Abstract: This paper discusses the difficulties and challenges faced in teaching Nature of Science elements during the History and Philosophy of Science course in physics teacher education at the Federal University of Rio Grande do Norte, Brazil. Although difficult, it is necessary to address Nature of Science principles in pre-service physics teacher training. This initiative, either through explicit or implicit strategies, faces some problems. It is noteworthy that alternative conceptions of these students, pre-service teachers, on Nature of Science often come to light. The understanding and accepting of more suitable Nature of Science principles involves an arduous “negotiation” with these individuals. This paper discusses and illustrates some challenges observed in an attempting to teach Nature of Science in the particular context of a History and Philosophy of Science course. It shows some details of the items taught in the course, discusses the difficulties noticed during the semester, and suggests a possible strategy to cope with these challenges.

Key-words: Science Teaching, Nature of Science, History of Science, Teacher Education.

* Juliana Mesquita Hidalgo Ferreira é professora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática e do Departamento de Física Teórica e Experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Endereço para correspondência: Conjunto dos Professores - CEP 59072-970. E-mail: juliana_hidalgo@yahoo.com; julianahidalgo@dfte.ufrn.br.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho discute dificuldades e desafios enfrentados no ensino de conteúdos de Natureza da Ciência (NdC) na disciplina de História e Filosofia da Ciência, ministrada na formação de professores de Física na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

A importância de incluir essa temática no ensino tem sido reconhecida em documentos oficiais, e se reflete na presença de sua discussão em grande número de artigos publicados em revistas especializadas. Conhecimentos sobre NdC seriam relevantes, entre outras razões, para a tomada de decisões conscientes pela sociedade, humanizariam o ensino de ciências e permitiriam a compreensão do significado, produção, correlações, possibilidades e limitações do conhecimento (McComas; Almazroa & Clough, 1998, pp. 511-517; Praia; Gil-Pérez & Vilches, 2007; Lederman, 2007, pp. 831-832; Clough & Olson, 2008).

Entretanto, apesar das insistentes recomendações nesse sentido, permanece no ensino a rígida tradição de comunicar fatos ou produtos da ciência. Pesquisas indicam que muitos professores não têm consciência da construção social e cultural do pensamento científico, consideram que os cientistas são pessoas com características peculiares, que empregam rigidamente o método científico para alcançar seus objetivos (Lederman, 2007).

Embora não se possa pensar numa relação imediata entre o que os professores sabem e o que de fato ensinam, colaborar para que a formação desses futuros profissionais contemple reflexões sobre a NdC parece ser significativo para que esses conteúdos cheguem às escolas. Isso porque a insegurança e o desconhecimento do assunto são fatores que levam os professores a não ensiná-los (Matthews, 1994).

Esses pressupostos fundamentaram o direcionamento da disciplina de História e Filosofia da Ciência na UFRN no sentido de levar discussões sobre NdC aos licenciandos em Física. Deve-se ressaltar que esses alunos não haviam até então tido um curso específico sobre a temática “Natureza da Ciência”, e nem teriam a oportunidade de fazê-lo, visto que estavam finalizando sua graduação naquele semestre. A intenção de relatar aqui particularidades dessa iniciativa é contribuir com as discussões a respeito das possibilidades de incluir cursos que abranjam essa temática na formação de professores.

2. A NATUREZA DA CIÊNCIA E SEU ENSINO

As discussões sobre a inclusão da NdC no ensino dependem, em princípio, da existência de certo consenso na comunidade acadêmica no que diz respeito a questões centrais do tema. Vem se apontando que as divergências existentes parecem contornáveis no que diz respeito a elementos considerados relevantes para o contexto do ensino (Vasquez-Alonso *et al.*, 2008; Lederman, 2007, pp. 832-835; McComas, 2008, pp. 250-251).

Estudiosos têm se dedicado a elaborar e avaliar propostas para ensinar esses conteúdos (Lederman 2007, pp. 847-861). Devido à natureza abstrata e complexa dessa temática, há certa convergência em torno de que a abordagem desses conteúdos deve ser preferencialmente contextualizada, explícita e reflexiva (McComas, 2008, p. 261).

A literatura recente da área de NdC tem reforçado a estratégia de utilizar exemplos históricos para discutir como a ciência funciona: “No ensino de NdC em qualquer nível, exemplos da história

da ciência são úteis para gerar discussões sobre NdC e compreender sua natureza contextual” (Clough & Olson, 2008, p. 144). Recomenda-se que a abordagem desses elementos via episódios históricos deve ser preferencialmente explícita (McComas, 2008, p. 261).

Os pressupostos apresentados acima nortearam algumas das ações colocadas em prática durante o curso de História e Filosofia da Ciência ministrado aos licenciandos em Física na UFRN no segundo semestre de 2008. Aspectos da NdC foram, preferencialmente, abordados de maneira explícita e reflexiva através de discussões de episódios da História da Ciência.

3. ENSINANDO NDC PARA LICENCIANDOS EM FÍSICA NA UFRN

A disciplina de História e Filosofia da Ciência é obrigatória, oferecida para alunos do oitavo semestre e possui carga horária de 90 horas, distribuídas em quatro horas e meia semanais, no curso de Licenciatura em Física da UFRN. Durante o segundo semestre de 2008, estavam matriculados 34 alunos. Naquela ocasião, o curso foi realizado em três etapas: 1) aulas iniciais sobre a temática História e Filosofia da Ciência e o Ensino, seguidas de seminários realizados pelos alunos sobre artigos que discutiam aspectos da Natureza da Ciência por meio de temas da História da Física; 2) aulas sobre a temática “conceituação de conhecimento” e que faziam a retomada e aprofundamento das discussões sobre conteúdos de Natureza da Ciência iniciadas na etapa anterior; 3) aulas nas quais foram realizadas uma abordagem explícita de conteúdos de NdC por meio de episódios da História do Vácuo. A seguir, comentaremos em detalhe cada uma dessas etapas.

3.1 Aulas iniciais e seminários

Inicialmente, o curso abordou, por meio de aulas expositivas e discussões de textos, a crescente aproximação entre a História e Filosofia da Ciência e o ensino ¹. Enfatizou-se a possibilidade de se usar a História da Ciência para evidenciar aspectos tais como o caráter humano e provisório do conhecimento e a influência do contexto social e histórico no desenvolvimento das concepções científicas.

Finalizadas essas discussões, passamos a uma nova etapa. Abordamos aspectos históricos do desenvolvimento de áreas da Física através de seminários realizados pelos alunos, imediatamente após os quais esses temas eram retomados pelo professor.

Na maior parte dos textos sugeridos como tema para seminários ², o *foco central* era a discussão de aspectos da NdC via História da Ciência, e alguns desses o sinalizavam explicitamente. Os restantes também abordavam de modo contundente questões desse gênero, ainda que não trouxessem explicitamente a expressão “Natureza da Ciência”. Relataremos daqui por diante algumas ocorrências particularmente significativas notadas durante a realização dos seminários.

As apresentações diferiram bastante do esperado e seus conteúdos parecem reveladores, na medida em que seguiram certo padrão. Os alunos deram *forte enfoque* aos *aspectos físicos* abordados nos textos. Geralmente consideraram *pouco* os *aspectos históricos* dos episódios

¹ Dentre os trabalhos discutidos podemos citar: Matthews, 1995; Martins, 2006a; Peduzzi, 2001.

² Os textos indicados para os seminários foram (ver referências): Silva & Martins, 2003; Dias & Martins, 2004; Martins, 2005; Silveira & Peduzzi, 2006; Martins, 2006b; Silva & Moura, 2008.

em questão. E, praticamente *desconsideraram* a discussão de elementos da *NdC*, o que nos parece relevante tendo em vista que tal discussão ocorria explicitamente nos textos sugeridos, e por vezes era elemento central nesses trabalhos.

Podemos citar alguns exemplos. O grupo responsável pelo texto que discutia a trajetória de Michael Faraday até a formulação do conceito de indução eletromagnética (Dias & Martins, 2004), procurou reconstruir detalhes das montagens experimentais e aspectos físicos envolvidos nas pesquisas realizadas pelo cientista. Os alunos parecem não ter percebido que toda aquela trajetória era lembrada com o intuito de retratar o árduo trabalho envolvido na realização de Faraday, bem como as limitações do cientista. Aspectos importantes da *NdC*, como o caráter cooperativo da atividade científica, eram o foco central daquele trabalho. Isso foi ignorado na apresentação do seminário.

As apresentações dos dois textos sobre óptica seguiram o mesmo padrão (Silva & Martins, 2003; Silva & Moura, 2008). Mostraram os *aspectos físicos* dos experimentos e ideias propostas por Newton. Deixaram de lado as questões históricas e epistemológicas que delineavam as discussões realizadas nos artigos.

O seminário que tinha como foco o personagem Arquimedes e a análise da composição da coroa do Rei Hieron (Martins, 2005), se concentrou em mostrar que *fisicamente* a descrição histórica do episódio normalmente contida nos livros-didáticos era inviável. Não recebeu a atenção do grupo o fato de o texto buscar desfazer o mito gerado em torno da figura do cientista que instantaneamente descobre algo e se comporta de maneira pouco usual.

É interessante notar, ainda, que, repetidamente, após cada seminário, numa breve exposição sobre os aspectos históricos envolvidos no tema abordado, procurou-se chamar a atenção para o fato de que tais aspectos e o tema *NdC* eram pontos-chave nos textos sugeridos para leitura. Ainda assim, as sucessivas apresentações mantiveram o mesmo tom.

Apenas duas exceções foram observadas nos seminários a respeito dos seguintes textos: “A maçã de Newton” e “Três episódios de descoberta científica” (Martins, 2006b; Silveira & Peduzzi, 2006). Mesmo assim, algumas ressalvas devem ser feitas a respeito dessas apresentações. Igualmente, notou-se nesses casos forte preocupação com os aspectos físicos dos problemas abordados por Newton e Galileu, embora isso não fosse central aos artigos em questão. Por outro lado, essas apresentações deram atenção a certos elementos deixados de lado por outros grupos, ainda que se mostrassem permeadas por conclusões um tanto quanto curiosas.

Os alunos encarregados do seminário a respeito do texto sobre Newton, por exemplo, mencionaram que o texto procurava mostrar que aquele personagem não havia chegado às suas conclusões simplesmente a partir da queda de uma maçã, e sim que se apoiou em conhecimentos já existentes e resultados de outros autores. No entanto, diante desses elementos adequadamente reconhecidos, alguns comentários apontaram para uma conclusão “perigosa” e diametralmente oposta: “Newton não fez nada!” Foi necessário retomar esse ponto a fim de evitar que se passasse de uma visão inadequada para outra também inadequada.

Quanto aos aspectos da *NdC*, de modo geral, o que se pôde notar foi certa resistência dos futuros professores em “enxergar” que os textos *não* tinham como foco central a discussão dos aspectos físicos presentes naqueles episódios, mas sim aspectos históricos e da *NdC* explicitamente abordados. Possivelmente por estarem acostumados ao sistema tradicional de ensino, em que não são familiarizados com problemáticas históricas da ciência, os alunos não pareciam reconhecer a

possibilidade de haver outro tema, se não o conteúdo físico como foco de discussão.

Tal possibilidade nos remete a um problema já apontado pela literatura da área: a necessidade de sensibilizar os professores para a importância dos conteúdos de NdC. Estudos mostram que alunos/futuros professores em estágio, mesmo quando expostos a conteúdos de NdC, não dão atenção a esses e afirmam que não pretendem ensiná-los (McComas; Almazroa & Clough, 1998, pp. 523 e 527).

Como mencionamos, os licenciandos matriculados na disciplina de História e Filosofia da Ciência ainda não haviam recebido instruções explícitas sobre o tema NdC em sua formação. O primeiro contato com o assunto, mesmo ocorrendo através de discussões explícitas de aplicações práticas, mostrou-se insuficiente para sensibilizá-los da importância desses conteúdos.

Ao final dessa primeira etapa do curso, foi realizada uma avaliação escrita. Uma das questões pedia que, com base nos textos dos seminários, o aluno citasse e explicasse através de exemplos como se propõe a discussão em sala de aula de aspectos da NdC.

Os resultados das avaliações indicaram dificuldade quanto a compreender os aspectos da NdC enfatizados durante o curso. Quando chamados a explicá-los, relacionando-os aos assuntos dos seminários, os alunos demonstravam ter dúvidas. De modo geral, lembravam de modo fragmentado do que foi discutido em aula. Falavam em cooperação, em um autor se basear em outro, mas não conseguiam articular sua argumentação e relacioná-la aos exemplos históricos. A julgar pelo estágio em que estavam, pode-se dizer que dificilmente em suas aulas, como futuros profissionais, eles *intencionalmente* trabalhariam conteúdos de NdC.

Diante dessa perspectiva e dos resultados até então pouco animadores, consideramos que era necessário investir no ensino desses conteúdos. É importante ressaltar que a etapa seguinte estava, de fato, já prevista no planejamento da disciplina, mas, diante do que se observou no início do semestre, foi enfatizada a realização de atividades em aula que procuravam discutir de maneira explícita esses conteúdos. Nosso objetivo era sensibilizar os alunos para a sua importância, e incentivar que examinassem suas próprias concepções sobre NdC, algumas das quais começaram a se revelar inadequadas desde as primeiras aulas³.

3.2 “Conceituação de conhecimento” e aspectos da NdC

O curso prosseguiu com uma sequência de aulas expositivo-dialogadas que abordou os limites e possibilidades do conhecimento. A aula final desse bloco discutiu aspectos da NdC em torno dos quais existe acentuado consenso atualmente e destacou, em particular, alguns geralmente apontados como relevantes para o ensino (Quadro 1).⁴

Sentimos necessidade de expressar um mesmo enunciado de variadas formas (ver, por exemplo, os itens 6, 7 e 8) a fim de facilitar a compreensão do licenciando, principalmente

³ Afirmações sobre a possibilidade de “teorias” se tornarem “leis” eram comuns entre os alunos desde o início do curso.

⁴ Abordando o assunto NdC, em fins da década de 1990, McComas; Almazroa & Clough ponderavam que, como em qualquer campo dinâmico, o debate construtivo existia, e havia desacordo em torno de questões filosóficas particulares (1998, p. 527). A partir de legislações oficiais de ensino de vários locais do mundo e trabalhos sobre essa temática produzidos ao longo de três décadas, esses autores notavam, no entanto, certa convergência em torno de aspectos da NdC a serem contemplados na educação. A partir desses dados, organizaram uma listagem de tópicos (McComas; Almazroa & Clough, 1998, p. 513) a qual utilizamos como base para a redação do Quadro 1 utilizado nessa disciplina.

tendo em vista os problemas iniciais notados e a complexidade do tema.

O Quadro 1 foi apresentado integralmente aos alunos. Quando questionados sobre se compreendiam os enunciados e se se eram capazes de ilustrá-los com exemplos apresentados durante o curso, os alunos demonstraram dificuldade. Realizamos, então, uma discussão em aula sobre cada um dos enunciados. Procuramos ilustrá-los retomando os exemplos históricos discutidos nos seminários, de modo a contextualizá-los. Fizemos, também, alusão a outros episódios da História da Ciência. Assim, por exemplo, ao tratar dos itens que se referiam à dependência da observação em relação à teoria (9-13) e à possibilidade de desacordo entre os cientistas (16, 17), lembramos os questionamentos e a polêmica em torno da validade das primeiras observações realizadas com os telescópios.

Quadro 1. Mensagens de NdC abordadas na disciplina.

01. A ciência tem como principal objetivo adquirir conhecimento do mundo natural.
02. A ciência é empírica (baseada e/ou derivada das observações do mundo natural).
03. A ciência é dinâmica, mutável e experimental.
04. O conhecimento científico não é estático, convergente, mas mutável e provisório.
05. A ciência é criativa na invenção de conceitos e de explicações.
06. Não há um método científico único universal.
07. Não existe uma maneira única de fazer ciência.
08. Não há um conjunto de regras perfeitamente definidas a aplicar de uma forma mecânica e independentemente do domínio investigado.
09. Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente.
10. As observações são dependentes da teoria.
11. A natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua.
12. As teorias científicas não são induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações.
13. Recusa-se o empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência a partir de “dados puros”.
14. As teorias científicas não podem ser provadas.
15. Leis e teorias desempenham papéis diferentes na ciência. Teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais.
16. O desacordo entre os cientistas sempre é possível.
17. Treinamento compartilhado é um componente essencial do acordo entre os cientistas.
18. Os cientistas não desenvolvem deduções incontestáveis, mas fazem complexos julgamentos de especialistas.
19. O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo.
20. O raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, espirituais e culturais.

Apesar de termos realizado assim uma abordagem explícita e reflexiva dos aspectos da NdC, notamos que, de modo geral, os alunos tiveram dificuldade na avaliação realizada ao final dessa etapa, quando se pediu que analisassem criticamente as afirmações que fazem parte do Quadro 2 abaixo:

Alguns não conseguiram iniciar qualquer tentativa de comentá-las. Na maior parte dos casos, os estudantes apresentaram comentários desarticulados. Pôde-se notar que, nessas

respostas, fragmentos do que havia sido mencionado pelo professor se misturavam a pré-concepções dos alunos sobre aqueles temas. Em muitas dessas respostas, vale destacar, a mistura de tais elementos parecia resultar em algo praticamente incompreensível. Podemos ilustrar essa particularidade citando comentários⁵ de alguns estudantes a respeito das afirmações do Quadro 2:

Quadro 2. Afirmações propostas aos estudantes para análise.

01. “Leis são mais ‘certas’ do que teorias, isto é, a diferença entre leis e teorias está no grau de certeza que temos sobre elas”.
02. “O conhecimento científico baseia-se exclusivamente na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo”.
03. “Os resultados experimentais possibilitam por indução a descoberta das leis científicas”.
04. “Seguir os passos contemplados pelo método científico é a maneira segura para chegar-se à verdade sobre as coisas”.
05. “Está cientificamente provado que este xampu reduz a quebra dos cabelos em até 70%”.

Resposta: *“Não, pois as leis são ordenações das coisas, já a teoria ela não pode ser provada” [sobre a afirmativa 1].*

Resposta: *“Esta afirmação [5] sobre o xampu é falsa, pois não existe um método científico verdadeiro. Essa afirmação [4] é verdadeira sobre método científico pois só por ele é que possibilita chegar a um conhecimento verdadeiro”.*

De modo geral, a análise dessas respostas (e comentários dos alunos em aula) revelou que, em parte significativa dos casos, eles frequentemente oscilavam entre suas pré-concepções sobre a NdC e referências muitas vezes desconexas, pouco articuladas ou fragmentadas a concepções aceitas pela epistemologia contemporânea, abordadas na disciplina. Esse tipo de situação tem sido apontada por pesquisas na área (ver, por exemplo, Massoni & Moreira, 2007, p. 7).

A partir do que notamos em nosso caso, alguns pontos podem ser mencionados a respeito do “enraizamento” dessas concepções prévias. Ao mesmo tempo em que diziam não existir “conhecimento definitivo”, alguns alunos explicavam que lei diferia de teoria porque lei era “aquilo que está provado”. Não se davam conta de que tais afirmações se contradiziam. E, ainda que lhes fosse explicitamente explicada a diferença entre teoria e lei, via-se que, vez ou outra, incorriam nas mesmas afirmações errôneas que representam o senso comum sobre o assunto.

Ainda sobre as afirmações do Quadro 2, alguns poucos comentários bem articulados foram produzidos e se destoaram dos demais:

Resposta: *“Não existe um método universal para se fazer ciência. [...] É interessante comentar, também, sobre “a verdade das coisas”. A ciência é mutável, o conhecimento é efêmero. As teorias não podem ser provadas [sobre a afirmativa 4]”.*

⁵ Reproduzimos aqui esses comentários sem realizarmos correções ortográficas e gramaticais.

Resposta: “[...]. A teoria não está pronta, esperando ser ‘descoberta’. Outro ponto que vale ser discutido é que a natureza não produz evidências que possibilitem uma indução direta; em geral, essas evidências são capciosas, permitindo múltiplas interpretações que dependem dos conceitos pré-existentes do investigador [sobre a afirmativa 3]”.

3.3 “História do Vácuo” e NdC

A disciplina de História e Filosofia da Ciência abrangeu ainda outro bloco temático cujo objetivo era também discutir aspectos da NdC. Procuramos abordar esses elementos numa série de aulas expositivo-dialogadas, centradas nas polêmicas e ocorrências que envolveram a aceitação da existência do vácuo e da pressão atmosférica. Levando em conta o potencial didático do que denominamos “História do Vácuo”, procuramos explorar a contraposição de ideias entre Aristóteles e os atomistas sobre o tema, na Antiguidade. Passamos pela Idade Média, onde o “horror ao vácuo” era marcante. E chegamos, enfim, às discussões e experimentos do século XVII, quando se passa a aceitar com mais frequência a possibilidade e existência efetiva do vácuo.⁶

Tomando esses episódios como contextualização, procuramos refletir sobre algumas questões particulares da NdC, realizando, portanto, uma abordagem explícita, reflexiva e contextualizada desses conteúdos. Podemos citar aqui, como exemplo, a discussão a respeito da possibilidade de atomistas e Aristóteles diferirem de interpretação diante de mesmo fenômeno: certo volume de ferro pesaria mais do que o mesmo volume de algodão.

Em aula, procuramos, inicialmente, expor ocorrências que, tal como a mencionada anteriormente, potencialmente serviriam como exemplificação para aspectos da NdC já discutidos. Notamos, no entanto, que os alunos não conseguiam por si só reconhecê-los naquelas circunstâncias. Procuramos, então, observar o que ocorria quando apontávamos que as ocorrências acima poderiam ilustrar aspectos como “as observações são dependentes da teoria” e “a natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua”. Mesmo assim, os alunos não conseguiam articular uma explicação no sentido de como essa exemplificação poderia ser realizada. Sendo assim, procuramos explorar explicitamente tais casos em aula, refletindo sobre os princípios da NdC e sua contextualização através daqueles episódios.

Notamos, no entanto, que ao retomar o assunto na avaliação, boa parte dos alunos voltou a demonstrar dificuldade. Poucos realizaram reflexões adequadas:

Resposta: “A concepção que a questão aborda é o fato da natureza não produzir evidências simples a fim de permitir uma interpretação não ambígua. Tal concepção é evidenciada na questão pelo fato de existir várias interpretações para um mesmo fenômeno [...], que levando-se em conta o conhecimento que se tinha, eram bem fundamentadas”.

As respostas de alguns alunos revelaram a identificação de aspectos da NdC que poderiam ser ilustrados através dos exemplos históricos, mas, ao mesmo tempo, indicaram dificuldade

⁶ A literatura que subsidiou essas aulas foi: Magie, 1969; Martins, 1989a; Martins, 1989b; Martins, 1993; Portela, 2006.

na efetiva compreensão do sentido das afirmações enunciadas no Quadro 1. Citemos aqui um exemplo. Relacionando determinada ocorrência histórica ao princípio de que “A natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua”, um dos alunos comentou:

Resposta: “[...] pelo fato de muitas vezes estes fenômenos estarem sendo encontrados na natureza, quase sempre suas evidências levam os filósofos a terem diferentes interpretações, pois a cada momento a natureza muda, ela sofre constantes transformações”.

Nesse caso, o aluno parecia atribuir as diferentes interpretações a mudanças ou transformações da própria natureza, isto é, dos fenômenos em si. Não foi apontada a possibilidade de haver diferentes interpretações para um mesmo fenômeno. Sendo assim, a visão empirista-indutivista, de certo modo, parecia transparecer em sua fala.

Ainda nessa avaliação escrita realizada pelos alunos, propusemos as questões apresentadas nos Quadros 3 e 4 a seguir.

Quadro 3. Questão que propõe reflexão sobre a NdC por meio de fonte primária do século XIV.

“Coloque-se um [canudo de] junco, com uma extremidade no vinho e outra na boca. Sugando o ar do canudo, atrai-se o vinho para cima, embora ele seja pesado. Isso acontece porque é necessário que um corpo sempre venha logo depois, para evitar a formação de um vácuo” (Jean Buridan).

Essa afirmação de Buridan (séc. XIV) ilustra bem algumas concepções sobre a Natureza da Ciência, no que diz respeito ao papel das ideias dos cientistas ao elaborar, realizar experimentos e interpretar resultados.

Explique essas concepções e como elas podem ser ilustradas pelo exemplo anterior.

Quadro 4. Título Questão que propõe reflexão sobre a NdC por meio de fonte primária do Renascimento.

“Seja um corpo internamente côncavo [e fechado] [...] e cheio de ar. Esse corpo, portanto, [...] é colocado na água ou em algo que esteja intensamente frio, de tal modo que a água congela, ocupando menos espaço. Será criado vazio?”

Quais as possibilidades de resposta para essa pergunta no Renascimento? Qual era a mais aceita? Que aspectos da natureza da ciência podem ser ilustrados por esse caso, isto é, pelas tentativas de interpretar esse experimento?

Como havíamos visto em sala, durante a Idade Média e o Renascimento, boa parte das observações e experimentos realizados ou imaginados era interpretada levando-se em conta o pressuposto teórico do “horror ao vácuo”.

Tal comentário se aplica, por exemplo, ao exemplo histórico ao qual a questão do Quadro 5 se refere. Esse episódio e o discurso de Jean Buridan (1300-1358), explicitado na citação do Quadro 3, haviam sido particularmente analisados em sala. Esses e outros episódios históricos foram evocados em nossas discussões em classe para contextualizar aspectos da NdC como: “As observações são dependentes da teoria”, “A natureza não produz evidências claras o bastante para permitir uma interpretação não ambígua”. Procuramos realizar, portanto, via História da Ciência, uma abordagem reflexiva e explícita desses conteúdos.

Notamos, no entanto, que na avaliação os alunos ainda assim demonstravam dificuldade para responder à questão proposta no Quadro 3:

Resposta: *“Jean Buridan era contra o vácuo, para ele a natureza tinha horror ao vácuo, por essa forma ele cita o exemplo do canudo afirmando dessa forma que sempre haverá alguma coisa, mas de forma alguma terá o vácuo pois como ele mesmo diz: “[...] é necessário que algum corpo sempre venha logo depois do ar que é sugado para cima, para evitar a formação de vácuo”.*

Parte das respostas seguiu nessa direção. Ficaram restritas a lembrar particularidades de experimentos realizados ou pensados na época.

É possível que esses alunos não tenham compreendido que a questão solicitava que se refletisse sobre os episódios relacionando-os a aspectos da NdC. Por outro lado, é possível que tenham entendido, mas não soubessem fazê-lo. Vale lembrar aqui, no entanto, que isso havia sido realizado em sala de aula pelo próprio professor.

Quanto a essa questão, certas respostas particularmente curiosas merecem ser aqui mencionadas. Algumas parecem sugerir que: 1) naquela época (século XIV) o comportamento dos pesquisadores/pensadores era diferente e pior, isto é, se comportavam de maneira inadequada e não aceitavam evidências que pareciam apontar o contrário do que pensavam; 2) atualmente os pesquisadores se comportam de outro modo.

Também nesse sentido, alguns alunos parecem não ter compreendido o significado de se dizer que “uma observação só é significativa se houver uma expectativa pré-existente”. Passaram a uma direção mais radical, no sentido de que tal afirmação implicaria em que uma pessoa vê exclusivamente o que ela quer ver.

A não compreensão das discussões realizadas em aula pareceu por vezes levar a essas contradições e comentários um tanto quanto confusos. Citamos abaixo um exemplo desse tipo de situação.

Resposta: *“No século XIX, os experimentos realizados para a ‘comprovação’ da inexistência do vácuo eram feitos e já possuíam resultados definidos, [...]. Então, esses experimentos [...] não tinham embasamento teórico concreto algum, pois independentemente da experiência realizada o resultado seria o mesmo, devido essa crença que existia”.*

Na reflexão sobre questões que envolveram episódios da História do Vácuo para a discussão de elementos da NdC, algumas particularidades já comentadas no presente artigo voltaram a se manifestar. Novamente, parte das respostas mostrava que os estudantes não haviam compreendido de maneira satisfatória o conteúdo. Fragmentos do que havia sido mencionado pelo professor podiam ser recuperados em meio às pré-concepções dos alunos sobre aqueles temas. E, novamente, a junção desses elementos resultou, por vezes, em algo praticamente incompreensível.

Como ilustram as duas afirmações abaixo, apresentadas pelo mesmo aluno, em resposta respectivamente às questões dos Quadros 3 e 4, esses indivíduos frequentemente oscilavam entre pré-concepções empiristas-indutivistas sobre a NdC e referências - ora mais articuladas, ora mais fragmentadas - a concepções aceitas pela epistemologia contemporânea.

Resposta: *“O trecho ilustra alguns pontos que são considerados concenso pelos filósofos da ciência atual. Dentre eles estão o caráter experimental da ciência e a conseqüente*

comprovação de uma teoria através da experimentação, bem evidentes no trecho citado. Assim, os argumentos formais e idéias desenvolvidos devem ser verificadas através do experimento. Além disso, as análises e explicações dos fenômenos observados são feitos através de modelos e teorias criados pelos cientistas, de forma que um mesmo resultado pode ser explicado de maneiras completamente diferentes”.

Resposta: *“O trecho entre aspas ilustra o caráter interpretativo da ciência [...] um mesmo experimento pode ser usado para reforçar uma ou outra teoria. [...] as opiniões dos cientistas acerca de certos fenômenos podem diferir, ou seja, que as teorias são apenas possíveis explicações e que estas não ‘provam’ nada”.*

Assim, transparece no discurso de um mesmo indivíduo, ora o conhecimento concebido como definitivo e certo porque sustentado pela observação e pela experiência, ora a ideia de conhecimento provisório e a possibilidade de múltiplas interpretações dos resultados experimentais. Vale notar que essa situação foi comum nas avaliações analisadas.

Desse modo, pode-se dizer que as respostas às questões não foram de modo geral satisfatórias. Em contraposição, encontramos algumas respostas consistentes e bem articuladas:

Resposta: *“Uma concepção perceptível no texto é a de que a natureza não oferece evidências claras sobre seu comportamento, mas sim ambíguas [...] podemos destacar a importância que as idéias pré-existentes do cientista têm sobre a interpretação do resultado. Jean Buridan negava o vácuo e para ele, o resultado do ‘experimento’ com o junco corroborava isso. Para outros, como Torricelli, tal experimento tinha outra explicação, que não negava a existência do vácuo”.*

O fato de termos obtido algumas reflexões bastante consistentes, bem como a impressão de que havíamos ao menos conseguido chamar a atenção desses alunos-futuros professores para a importância do tema, nos motiva a continuar atuando nessa direção.⁷

As particularidades observadas na prática mostram o quanto é difícil sensibilizar os alunos para a importância do tema NdC. Frequentemente, o foco de atenção se desviava para os aspectos físicos envolvidos nos episódios históricos estudados. Aos poucos, no entanto, o contato com a temática NdC parece ter surtido algum efeito, ainda que esse não correspondesse ao ideal, entre aqueles que até então nunca haviam refletido sobre o assunto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o que foi observado durante o decorrer do semestre, pôde-se notar o quão complexa é a tarefa de ensinar conteúdos de NdC para licenciandos em Física. Mesmo considerando que, na maior parte das vezes, procuramos privilegiar a abordagem explícita

⁷ Essa iniciativa tem sido contínua tanto na própria disciplina de História e Filosofia da Ciência, como no planejamento de oficinas sobre a temática NdC que em breve serão oferecidas para futuros professores e no trabalho de formação de professores no âmbito do subprojeto Física-UFRN do Programa de Bolsa de Iniciação a Docência da CAPES (o qual atualmente atende a 25 licenciandos em Física e dois professores da rede estadual de ensino de Natal).

desses conteúdos pôde-se notar grandes dificuldades. Nem mesmo é algo imediato conseguir sensibilizar os alunos para a importância das questões abordadas.

Quanto ao aprendizado desses conteúdos, pode-se dizer que esse se caracteriza como um longo e lento processo no qual se faz presente uma árdua “negociação”. Ao longo do curso, vez ou outra, as concepções alternativas desses futuros professores sobre a NdC vinham à tona.

Acreditamos que o contato com conteúdos de NdC ao longo das diversas disciplinas da licenciatura poderia ser um meio mais adequado para que repetidas vezes essas concepções alternativas pudessem ser examinadas. Dada a complexidade do tema NdC, sugere-se aqui a necessidade de haver, ao longo das disciplinas da licenciatura, um equilíbrio entre produto e processo do conhecimento, para que os conteúdos de NdC possam, de fato, fazer parte da formação dos professores de Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLOUGH, Michael P.; OLSON, Joanne. K. Teaching and assessing the nature of science: an introduction. *Science & Education* **17** (2-3): 143-145, 2008.
- DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: o caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. *Ciência & Educação* **10** (3): 517-530, 2004.
- LEDERMAN, Norman G. Nature of Science: Past, Present, and Future. Pp: 831-880, in: ABELL, Sandra K. & LEDERMAN, Norman G. (eds.). *Handbook of research on Science Education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- MAGIE, William F. *A source book in Physics*. Cambridge: Harvard University Press, 1969.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Tratados físicos de Pascal. Tradução e notas. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] **1** (3): 49-168, 1989 (a).
- . O vácuo e a pressão atmosférica, da antiguidade a Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] **1** (3): 9-48, 1989 (b).
- . Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor e contra o vácuo. *Trans/Form/Ação* **16**: 7-27, 1993.
- . Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. Pp. 181-185, in: STUDART, Nelson; OLIVIERI, C. A.; VEIT, E.; ZYLBERSZTAJN, A. (orgs.). *Física – Ensino Médio. Coleção Explorando o Ensino, vol. 7*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2005.
- . Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. Pp. xxi-xxxiv, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006 (a).
- . A maçã de Newton: história, lendas e tolices. Pp. 167-189, in: SILVA, Cibelle Celestino (org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006 (b).
- MASSONI, Neusa T.; MOREIRA, Marco A. O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuros professores de física. *Investigações em Ensino de Ciências* **12** (1): 7-54, 2007. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID160/v12_n1_a2007.pdf>. Acesso em: 12 setembro 2010.

- MATTHEWS, Michael R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Cadernos Catarinenses de Ensino de Física* **12** (3): 164-214, 1995.
- . *Science Teaching. The role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, William F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the Nature of Science. *Science & Education* **17** (2-3): 249-263, 2008.
- MCCOMAS, William F.; ALMAZROA, Hiya; CLOUGH, Michael. The Nature of Science in Science Education: An introduction. *Science & Education* **7**: 511-532, 1998.
- PEDUZZI, Luiz. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. Pp. 151-170, in: PIETROCOLA, M. (org.). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- PORTELA, Sebastião I. C. *O uso de casos históricos no ensino de física: um exemplo em torno da temática do horror da natureza ao vácuo*. Brasília, 2006. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília.
- PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da Natureza da Ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação* **13** (2): 141-156, 2007.
- SILVA, Cibelle Celestino; MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.
- SILVA, Cibelle Celestino; MOURA, Breno A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30** (1): 1602-1610, 2008.
- SILVEIRA, Fernando L. Da; PEDUZZI, Luiz. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **23** (1): 26-52, 2006.
- VASQUEZ-ALONSO, A.; MANASSERO-MAS, M.A.; ACEVEDO-DÍAZ, J.A.; ACEVEZO-ROMERO, P. Consensos sobre a Natureza da Ciência: a Ciência e a Tecnologia na Sociedade. *Química Nova na Escola* **27**: 34-50, 2008.

ASPECTOS DA NATUREZA DAS CIÊNCIAS EM SALA DE AULA: EXEMPLOS DO USO DE TEXTOS CIENTÍFICOS EM PROL DO PROCESSO DE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA DOS ESTUDANTES

Lúcia Helena Sasseron^{*}

Viviane Briccia^{**}

Anna Maria Pessoa de Carvalho^{***}

Resumo: *O presente trabalho pretende evidenciar a relevância de trabalhar com episódios da história da ciência em salas de aula da educação básica, neste caso em turmas do Ensino Médio, como uma forma de combater visões deformadas de estudantes a respeito do conhecimento científico e de sua construção, bem como propiciar a oportunidade para que se possa construir entre os estudantes visões mais adequadas sobre a natureza da ciência e as relações que circundam este campo de conhecimento. Partimos do pressuposto de que, tendo sido isto alcançado, estamos favorecendo o processo de alfabetização científica de nossos alunos. Para consolidar nossas ideias, analisamos duas situações de aula em que textos com episódios históricos são utilizados para as discussões: em uma destas aulas, faz-se uso de um texto histórico original e, na segunda, é usado um texto histórico reconstruído. Ambas as aulas estão centradas em uma metodologia investigativa, a partir da discussão de situações-problema. Observamos em ambos os casos, que os estudantes discutem sobre aspectos da natureza da Ciência, tendo contato com o conhecimento científico e também com as situações e ações que permitiram a construção de tais ideias.*

Palavras-chave: *Alfabetização Científica; Natureza da Ciência; Ensino Médio*

ASPECTS OF THE NATURE OF SCIENCE IN THE CLASSROOM: EXAMPLES FOR THE USE OF SCIENTIFIC TEXTS TO SUPPORT THE PROCESS OF SCIENTIFIC LITERACY

Abstract: *The purpose of this paper is to show the relevance of working with episodes from the history of science in middle school classrooms as a means of correcting students' misconceptions regarding processes that involve the construction of scientific knowledge. Our*

^{*} Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LAPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo - Av. da Universidade, 308 - Bloco B - Sala 3A. CEP: 05508-900. São Paulo, São Paulo, Brasil. sasseron@usp.br

^{**} Departamento de Educação da Universidade Estadual de Santa Cruz - Campus Soane Nazaré de Andrade, km 16 Rodovia Ilhéus-Itabuna. CEP: 45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil. yviviane@uesc.br

^{***} Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física (LAPEF) da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo - Av. da Universidade, 308 - Bloco B - Sala 3A. CEP: 05508-900. São Paulo, São Paulo, Brasil. ampdcarv@usp.br

intention is to provide opportunities for students to construct more appropriate views of the nature of science and of relations surrounding this field of knowledge. Our assumption is that by attaining this goal we are furthering our students' acquisition of scientific literacy. To consolidate our ideas, we analyzed two classes in which texts featuring historical episodes were used for discussion purposes. In one of thm we used an original historical text, and in the other a reconstructed historical text. Both classes focused inquiry methodology based on the discussion of problem situations. In both cases we noted that the students discussed aspects of the nature of science, thereby achieving contact with the prevailing scientific knowledge as well as with the situations and actions that led to the construction of that knowledge.

Key-words: *Scientific Literacy; Nature of Science; Middle School.*

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre o Ensino e a Aprendizagem das Ciências têm mostrado cada vez mais a forte relação existente entre a abordagem de temas e conceitos científicos em sala de aula de ciências e a construção de visões sobre aspectos da natureza da Ciência indicando ser a primeira fator determinante para a obtenção da segunda (Sasseron; Briccia & Carvalho, 2009); Forato, 2009; Vannucchi, 1996; Nascimento, 2004; Metz *et al.*, 2007). O ensino que se reduz à simples apresentação de conhecimentos já elaborados, sem dar atenção aos processos e às características da atividade científica, pode levar os estudantes à construção de visões não adequadas sobre a Ciência (Porlán & Rivero, 1998; Harres, 1999; Khalick & Lederman, 2000; Gil Pérez *et al.*, 2001; 2005; Praia; Gil Pérez & Vilches, 2007, entre outros).

Em geral, o ensino de Ciências é trabalhado de forma mecânica, tradicional, a partir de fórmulas, descrições, enunciados e leis, e, portanto, em muitas oportunidades, o ensino de Ciências fica restrito quase que exclusivamente à operacionalização de fórmulas e exercícios. Em decorrência, não há promoção de oportunidades para vivências e discussões de processos de construção do conhecimento científico, nem tão pouco ocasiões para que sejam debatidas relações entre os conhecimentos da Ciência com a Tecnologia, Sociedade e o Ambiente (relações CTSA) (Gil Pérez *et al.*, 2001).

Estudos na área apresentam alguns exemplos de visões distorcidas sobre o trabalho da Ciência que normalmente são criadas entre os estudantes como consequência das aulas usualmente ministradas (Gil Pérez *et al.*, 2001; 2005; Praia; Gil Pérez & Vilches, 2007). Entre estas visões, estão:

- uma visão empirista e distante da teoria, onde se esquece o papel essencial das hipóteses e da construção de um corpo coerente de conhecimentos (teoria);
- uma visão rígida, onde se apresenta um método científico com maiúsculas, como um conjunto de etapas a seguir mecanicamente;
- uma visão a-problemática e a-histórica, onde os conhecimentos são “transmitidos” sem mostrar quais os problemas que geraram sua construção, sua evolução, suas dificuldades, etc.;
- uma visão acumulativa, linear, onde se ignoram as crises, as remodelações profundas;
- uma visão de sentido comum, onde os conhecimentos são claros, óbvios, de senso

comum e uma visão descontextualizada, socialmente neutra, onde se esquecem as complexas relações CTSA.

Considerando como igualmente fundamentais de serem desenvolvidos na escola tanto o conteúdo científico em si, quanto a abordagem de aspectos ligados ao fazer científico, uma estratégia de ensino que pode ser adotada em sala de aula é o trabalho com temas relativos à História e à Filosofia da Ciência com o objetivo de abordar aspectos da Natureza da Ciência desde a escolarização básica (Matthews, 1994; 2009; Khalick & Lederman, 2000; Silva, 2006, Praia; Gil Pérez & Vilches, 2007).

2. ALGUNS CAMINHOS JÁ TRILHADOS

Diversos são os autores que discutem e defendem a abordagem de tópicos de História e Filosofia da Ciência em sala de aula em prol da construção de uma visão mais adequada do trabalho científico (Gil Pérez *et al.*, 2001; Solbes & Traver, 2001; Nascimento, 2004; Metz *et al.*, 2007; Klassen, 2009).

Khalick & Lederman (2000) apontam que elementos de História e Filosofia da Ciência e/ou instruções diretas sobre a natureza da Ciência são mais efetivos para melhorarem as concepções dos estudantes do que os que utilizam processos fechados ou não reflexivos de atividade. Lederman (2007) afirma que ensinar a Natureza da Ciência é permitir ao aluno conceber a ciência como um campo de estudo, fornecendo um contexto significativo para a construção do conhecimento científico. Metz *et al.* (2007) recomendam a contextualização do ensino de Ciências na tentativa de mediar a relação entre a “ciência escolar” e a ciência cotidiana; estes autores defendem o uso de narrativas (stories), articuladas com a História da Ciência, como uma forma de facilitar uma implementação mais significativa nas classes de ciências, com o cuidado de se observar as formas e os contextos em que estas narrativas podem ser utilizadas.

Solbes & Traver (2001) apontam que é possível introduzir aspectos de História da Ciência com o objetivo de que os alunos compreendam melhor a maneira como se constrói e se desenvolve a ciência e quais as repercussões sociais advindas desses conhecimentos; para os autores, o uso da História da Ciência gera uma valorização adequada de aspectos tanto internos como externos do trabalho científico, sendo os aspectos internos: os problemas abordados, o papel do acaso, a importância dos experimentos, o formalismo matemático e a evolução dos conhecimentos (crises, contestações e mudanças de paradigma); e os externos: o caráter coletivo do trabalho científico e as implicações sociais da Ciência.

A História da Ciência pode fazer as idealizações da ciência mais humanas, compreensíveis e explicar-las como úteis, sendo importantes para que os estudantes se introduzam no mundo da Ciência (Matthews, 1994). Em um trabalho de 2009, Matthews sugere que se os estudantes não aprendem algo sobre a ciência – suas relações filosóficas, suas relações com culturas e religião, sua história – diminui-se a oportunidade para que os mesmos se enriqueçam culturalmente.

Alguns trabalhos têm investigado o uso de episódios da História da Ciência em salas de aulas de aula da Educação básica no sentido de uma construção mais apropriada sobre a Natureza da Ciência (Vannucchi, 1996; Castro, 1993; Solbes & Traver, 2001; Nascimento, 2004; Forato, 2009; entre outros). Nestes trabalhos foi observada a possibilidade de:

modificar uma imagem segregada das Ciências com a introdução, em sala de aula, de aspectos internos e externos do trabalho científico explorados com o uso de episódios de História da Ciência (Solbes & Traves, 2001); construir entre os estudantes uma imagem mais humana e viva da Ciência e também salientar o caráter problemático, social, histórico e provisório do conhecimento científico (Nascimento, 2004); discutir nuances sobre o que seja conhecimento científico e conhecimento tecnológico e refletir sobre as relações existentes entre ciência e tecnologia (Vannucchi, 1996); criar espaços para discussões sobre a construção de conhecimento científico por cientistas e os motivos, os anseios, as preocupações que guiaram e/ou motivaram seus trabalhos Castro, 1993; e promover debates em torno de elementos que possibilitam e que a História da Ciência é um recurso importante para se ensinar *sobre* a ciência (Forato, 2009).

De posse de tais resultados, vemos como possível e significativo o uso adequado de elementos da História da Ciência, desenvolver-se uma imagem não deformada da natureza da ciência (Gil Pérez *et al.*, 2001; Praia; Gil Pérez & Vilches, 2007) ou ainda, a compreensão de aspectos característicos desta Natureza da Ciência. Preocupações acerca da construção do conhecimento em ciências, bem como características próprias do fazer científico, são também consideradas por autores que propõem um ensino cujo objetivo seja a Alfabetização Científica.

3. ALGUNS APORTES SOBRE A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Considerações acerca da Alfabetização Científica já vem sendo discutidas na literatura sobre Didática das Ciências há pouco mais de meio século – a expressão *Scientific Literacy* é utilizada pela primeira vez por Paul Hurd, em 1958 (1998) –, e desde a década de 1990, maior ênfase vem sendo dada à promoção dela.

Após revisão na bibliografia sobre o assunto, em que foram consultados trabalhos amplamente aceitos pela comunidade de pesquisa em ensino de Ciências (tais como Hurd, 1998; Fourez, 1994; Laugskch, 2000; entre outros) e identificadas extensas listas sobre características que estes autores julgam necessárias de serem levadas em conta quando se deseja dizer se alguém pode ser classificado como alfabetizado cientificamente, Sasseron (2008), conciliando as ideias já expressas pelos autores revisados, propôs a existência de três eixos estruturantes da Alfabetização Científica. Na visão da autora, tais eixos são capazes de fornecer bases importantes a serem consideradas no momento da elaboração e planejamento de aulas e propostas de aulas visando à Alfabetização Científica.

O primeiro destes três eixos estruturantes refere-se à ***compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais*** e está ligado à possibilidade de trabalhar com os alunos a construção de conhecimentos científicos necessários para que seja possível a eles aplicá-los em situações diversas e de modo apropriado em seu dia-a-dia. Trata-se, pois, da abordagem de conteúdos conceitos científicos em situações de sala de aula. O segundo eixo estruturante da Alfabetização Científica preocupa-se com a ***compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática***, são consideradas aqui duas contribuições essenciais à formação dos estudantes: a primeira delas reporta-se à ideia de ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações; envolvendo processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam

os saberes; permite que os caracteres humano e social inerentes às investigações científicas sejam colocados em pauta. A segunda contribuição está relacionada às estratégias que podem ser utilizadas em sala de aula e ao comportamento assumido por alunos e professor sempre que defrontados com informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises. O terceiro eixo estruturante da Alfabetização Científica compreende o **entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente**: relaciona-se com a identificação do entrelaçamento entre estas esferas e, portanto, da consideração de que a solução imediata para um problema em uma destas áreas pode representar, mais tarde, o aparecimento de um outro problema associado.

Em se considerando um trabalho em sala de aula atento a estes três eixos estruturantes, oportunidades poderão ser criadas para promover o processo de Alfabetização Científica. Neste trabalho, em particular, temos como meta estudar a construção de uma visão de Ciência mais adequada pelos alunos. Para tanto, partimos do pressuposto de que, ao considerar os três eixos estruturantes, teremos oportunidades de promover situações em sala de aula em que aspectos da natureza da ciência e do fazer científico sejam trabalhados e discutidos pelos e com os alunos, criando oportunidades para a construção desta visão mais adequada da ciência.

4. INVESTIGAÇÕES SOBRE O USO DE TEXTOS HISTÓRICOS EM SALA DE AULA DA EDUCAÇÃO BÁSICA

Conciliando as discussões previamente estabelecidas sobre as oportunidades disponibilizadas com a abordagem de episódios de História da Ciência para o desenvolvimento da Alfabetização Científica dos estudantes, trazemos abaixo exemplos de aplicação de textos históricos em aulas de Física do Ensino Médio.

4.1 Primeiro exemplo: O uso de texto original de cientista

Este primeiro exemplo retrata alguns resultados obtidos após a aplicação de um texto histórico original em sala de aula (Nascimento, 2003; 2004), mais especificamente, a descrição realizada por Rumford de de sua experiência com a perfuração de canhões e suas dúvidas a respeito da natureza do calor (Magie, 1935, pp. 151-152 e 160-161). Este texto foi selecionado para compor uma sequência didática investigativa elaborada e implementada em salas de aula por professores de Física do Ensino Médio participantes de um projeto de pesquisa visando a melhoria do ensino de termodinâmica em algumas escolas públicas da região da grande São Paulo (Carvalho *et. al.*, 1999).

O início da sequência didática centra-se em estudos sobre termologia e modelos para explicação do calor. Uma das atividades utilizadas nas primeiras aulas da sequência didática foi um experimento de condução de calor em sólidos, no qual um fio metálico (cobre) revestido com parafina era aquecido e a discussão em sala girava em torno do que ocorreria com a parafina. Trata-se de uma atividade clássica em aulas sobre condução do calor e a inovação aqui estava na metodologia utilizada para sua execução: há um único kit experimental em sala de aula e ele está sob os cuidados do professor; ao realizar o experimento, o professor questiona os estudantes para que eles explicitem suas hipóteses;

elas serão testadas pelo professor e as informações obtidas serão analisadas por toda a turma até que se construam explicações para o fenômeno observado.

Após a realização do experimento, sugere-se que ocorra a leitura de um texto histórico, no caso, um relato de Rumford, quando de seus estudos sobre a natureza do calor. A leitura do texto também deve ser de maneira investigativa: por meio de uma leitura pausada, questionamentos são feitos pelo professor e debatidos com e entre os alunos. No texto, o cientista explicita suas dúvidas, levantando questões, tais como: “de onde vem o calor produzido na operação mencionada?”. Ao inserir a leitura deste texto como atividade da sequência didática, a intenção do grupo de professores era apresentar aos estudantes o contexto histórico relacionado à época em que viveu Rumford, assim como o seu trabalho, as questões sociais existentes na época (Carvalho et. al., 1999); por este motivo, a escolha pelo texto original de Rumford.

Após a leitura do texto, a discussão do professor com a turma, e em grupos de trabalho, deveria centrar-se em torno das seguintes questões:

- Qual a dúvida que pairava sobre Rumford a respeito da natureza do calor?
- Como o trabalho com os canhões auxiliou Rumford a discordar do modelo do calórico?
- Faça uma explicação do experimento da condução realizada em sala de aula, utilizando, inicialmente, o modelo do calórico e, posteriormente, o modelo cinético molecular.

O objetivo da leitura e discussão do texto, e também das questões a ele associadas, era explicitar as dificuldades enfrentadas pelo cientista como evidência das crises e controvérsias na construção de uma nova idéia a partir do que era cientificamente aceito à época.

Toda esta pesquisa pode ser observada em Nascimento (2003; 2004) e Briccia (2011) e contou com a análise da interação entre os estudantes (falas em grupo e com toda a sala) e o professor, além da análise de textos escritos pelos alunos e de uma análise do texto original de Rumford. Destacamos, a seguir, as falas de dois alunos ditas quando trabalhavam em grupo para responder a uma das questões da atividade.

Ele queria saber da onde vinha o... calor, pois ele queria saber da onde vinha... Aí ele fez essa experiência é do atri... do pedaço de metal embaixo d'água pra saber da onde vinha, mas como a peça estava fria e a água também estava fria, a água, ele não achou uma explicação, mas ele descobriu que o atrito gerava o calor, não da água e nem do metal, mas ele gerava calor.

Vou ler as respostas que a gente colocou aqui... Quais as dúvidas que ele tinha sobre a natureza do calor, eu pus assim, ó: “Poderia o calor ser gerado por um material frio? E o que é o calor... As dúvidas que ele teve e a dúvida de como o trabalho dele mostra, leva ele a discordar. É que se o calor é uma substância, porque ele pode ser gerado por corpos frios, através do atrito. E não precisa de um material quente para existir”.

As falas dos dois alunos demonstram consideração acerca de aspectos internos do trabalho científico (Solves & Traver, 2001), ou à construção dos conceitos.

Em frases do tipo: “... As dúvidas que ele teve e a dúvida de como o trabalho dele mostra, leva ele a discordar”, ou mesmo, “como a peça estava fria e a água também estava fria, a água, ele não achou uma explicação”, encontramos exemplos da percepção dos estudantes

em que podem ocorrer crises e controvérsias na construção de um conhecimento científico.

Nestas falas, também é possível perceber a valorização do trabalho experimental para/na construção de um conhecimento quando, por exemplo, o aluno 2 afirma: “*Ele queria saber da onde vinha o... calor, pois ele queria saber da onde vinha... Aí ele fez essa experiência é do atri... do pedaço de metal embaixo d’água pra saber da onde vinha*”. Este aluno ainda apresenta as dúvidas expostas pelo cientista: “se o calor é uma substância”, o que evidencia que o modelo explicitado em sala (teoria cinético molecular) para a explicação do experimento realizado anteriormente nem sempre foi consenso entre os cientistas, mas foi construído historicamente.

Além disso, estes pequenos momentos de uma discussão mostram o envolvimento com dois dos eixos estruturantes da Alfabetização Científica (Sasseron, 2008): a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; e a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática.

4.2 Segundo exemplo: O uso de texto retratando um episódio científico

Os episódios que apresentaremos a seguir ocorreram em sala de aula do segundo ano do Ensino Médio e foram apresentados em Vannuchi (1996; 2004). A intenção da proposta era tratar das estreitas relações entre Ciência e Tecnologia e, para tanto, o episódio histórico escolhido foi o aperfeiçoamento da luneta por Galileu Galilei, no século XVII. O texto lido nesta ocasião não é um original, mas sim um diálogo recriado em *Telescope, Tides em Tactics* (Stilman Drake, 1983) e travado entre contemporâneos imaginários de Galileu. Para a atividade de sala de aula, os alunos receberam informações introdutórias (também em formato de texto), em que era apresentada a intenção de discutir descobertas astronômicas proporcionadas pela utilização de telescópios, aperfeiçoados no século XVII por Galileu Galilei, além de mencionar as questões sociais e econômicas que envolveram o aperfeiçoamento do aparelho.

O texto destaca que naquele momento histórico a luneta foi aperfeiçoada para fins comerciais e navais, e não com o propósito de uso em estudos sobre astronomia. Também menciona que a explicação científica para o funcionamento da luneta, com base nas leis da refração, só foi esclarecida cerca de 70 anos mais tarde. Com estes aspectos, houve a intenção de evidenciar que o desenvolvimento tecnológico nem sempre é precedido pelo desenvolvimento de teorias científicas afins, visto que a luneta foi desenvolvida sem que houvesse, até então, qualquer teoria ótica que explicasse o seu funcionamento.

A atividade, assim como as questões relacionadas a ela, foram elaboradas para serem trabalhadas em um curso de formação de professores (Vannucchi, 1996) e, apesar de ser um texto recriado, foi escolhido por ter potencial de fazer com que professores e posteriormente estudantes discutam *sobre* a Ciência, objetivos do trabalho de formação. As questões da atividade também foram elaboradas no sentido de buscar os objetivos que estavam relacionados ao texto.

Na aula em que esta atividade foi utilizada, o texto foi lido pelos alunos, e os episódios de ensino que mostraremos retratam discussões ocorridas em pequenos grupos e com a sala toda.

Este primeiro trecho ilustra uma discussão ocorrida em um dos grupos de alunos enquanto

ocorre a discussão entre alunos para responder a uma das questões colocadas pelo professor: “Por que motivo Galileu decidiu aperfeiçoar a luneta?”

MA: *O que você acha, CLA?*

CLA: *O que?*

MA: *Por que ele queria aperfeiçoar?*

CLA: *Lê o texto! Por causa das batalhas.*

Gi: *Para vender. Que nem ele falou que...*

MA: *Pra ajudar o país dele.*

CLA: *Não vender. Ele queria ajudar o país dele. Vender...*

MA: *ele dobrou o salário.*

CLA: *Ele dobrar o salário foi uma consequência.*

Selecionamos o episódio acima por representar um momento em que os alunos, ao considerarem o trabalho de Galileu, passam a observar processos externos do trabalho científico, conforme apontados por Solbes & Traver (2001). Deste modo, ganham destaque as implicações sociais ligadas ao desenvolvimento de conhecimento científico e/ou tecnológico.

Estes aspectos ficam bastante evidentes nas discussões estabelecidas a partir da segunda fala de CLA, em que os estudantes destacam como motivo para o aperfeiçoamento da luneta por Galileu elementos diretamente pouco relacionados ao desenvolvimento do conhecimento científico alcançado com o uso deste instrumento para as observações do movimento das luas de Júpiter. Em suas falas, ressaltam motivos ligados à comercialização do equipamento aperfeiçoado o que poderia permitir a Galileu uma renda financeira. Neste sentido, os alunos explicitam um reconhecimento do caráter social do desenvolvimento científico (Gil-Pérez *et al.*, 2001), colaborando, pois, para que se construa, entre os estudantes, uma visão do cientista como um ser humano tal como qualquer outro, ou seja, cercado de preocupações cotidianas que, de uma maneira ou outra, exercem influência sobre o trabalho que realiza.

O próximo episódio ilustra um momento de discussão entre professor e a sala toda.

Prof: *Então a terceira questão: “Por que motivos, afinal, os estudiosos do início do século XVII foram contrários às observações celestes pelo telescópio?” Quem responde essa questão?*

Aluno LU: *Porque eles acreditavam que, se eles dessem razão ao que o telescópio viu, né, Júpiter e seus satélites, eles teriam que dar razão também que, como Júpiter... O telescópio viu que como Júpiter girava em torno do Sol, então eles teriam que acreditar também que a Terra poderia fazer esse mesmo contorno. Então teria que mudar tudo, né? A crença que eles tinham que a Terra era o centro do universo. Então teria que mudar e dar razão que quem era o centro do universo era o Sol e não a Terra. Então teria que mudar tudo. Então acho que eles estavam com preguiça de pensar [risadas] e não queriam mudar tudo.*

Aluno MI: *Mas no fundo eles acreditavam.*

Aluno LU: *Eu acredito que eles podiam até acreditar, mas eles preferiram não acreditar, não dar razão, pra não ter que mudar tudo.*

Prof: *Então vocês acham que eles acreditavam no telescópio?*
[discussão entre os alunos]

Aluno SA: *Eles não queriam discutir. Ia complicar, ia ter muita discussão em cima disso.*
 Prof: *Eles podiam até mudar algumas crenças.*
 Aluno SA: *Ia ter muita polêmica.*

Assim como havíamos destacado na análise do episódio anterior, aqui também a discussão aparece mais ligada a aspectos externos relacionados à validação de um conhecimento científico do que em relação à construção deste conhecimento.

A fala da aluna LU, neste episódio, destaca um ponto muito importante na construção de uma visão mais adequada da ciência: ela começa a explicitar a influência que um novo conhecimento pode representar para a sociedade. Este é um dos aspectos do processo externo do trabalho científico que Solbes & Traver (2001) mencionam como necessários de se valorizar em sala de aula. Além disso, em sua fala, percebemos que LU já apresenta uma visão de que a ciência é uma construção humana e, portanto, dependente dos contextos social, histórico e cultural nos quais o conhecimento é proposto.

No mesmo sentido, a aluna SA explicita a compreensão de que a construção do conhecimento científico é guiada por paradigmas e crenças que influenciam a observação e a interpretação dos fatos.

Merece ainda destaque o fato de que os alunos, neste episódio, sinalizam a necessidade de considerar o pensamento divergente (Gil-Pérez *et al.*, 2001) quando da proposição de uma nova ideia, bem como as implicações, razões e decorrências de tal divergência.

É claro que estes são episódios isolados de uma aula, mas demonstram que a discussão do texto, baseada nas questões previamente elaboradas com tal objetivo, suscitarem conversas em que os alunos demonstram terem construído uma visão de ciência como uma construção humana, sujeita a modificações e reformulações, já que está ligada à sociedade, influenciando-a e sendo por ela influenciada. Realça, pois, o trabalho com dois dos eixos estruturantes da Alfabetização Científica (Sasseron, 2008): a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; e o entendimento das relações CTSA. Frente a tais evidências, podemos afirmar que foi criada, em sala de aula, a possibilidade de que estes alunos participem do processo que pode levá-los a sua Alfabetização Científica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos nas análises apresentadas que, independentemente do trabalho em sala de aula ter sido feito a partir de um texto histórico original ou a partir de um texto histórico reconstruído, em ambos os casos foi possível colocar em pauta o trabalho com aspectos da Natureza da Ciência.

Por meio de suas falas e dos relatos escritos produzidos, os alunos demonstraram atenção a questões relacionadas ao fazer científico para análise e compreensão dos conhecimentos científicos. Estes fatos configuram-se, para nós, como evidências de que estes estudantes passaram a observar aspectos da construção do conhecimento nas ciências, dentre os quais a Ciência como uma atividade humana, destacando os interesses pessoais do cientista, e a relação destes interesses com o contexto histórico e social em que estão imersos; a Ciência como uma construção histórica, observando que os conhecimentos, outrora aceitos pela

comunidade científica, passam por crises e mudanças, tornando este um conhecimento vivo; o reconhecimento de aspectos internos e externos relacionados ao trabalho científico ao longo de seu desenvolvimento.

Podemos, pois, afirmar que as atividades aqui analisadas possibilitaram que, nestas aulas, os alunos se envolvessem com questões do fazer científico e, portanto, podem ter desenvolvido uma visão mais adequada do que seja o trabalho do cientista e o desenvolvimento de ideias no âmbito das ciências.

Apesar de não serem uma orientação explícita, tais aspectos correspondem a construções sobre a Natureza da Ciência, o que nos leva a estabelecer relações diretas entre o trabalho com os textos históricos e os eixos estruturantes da Alfabetização Científica (Sasseron, 2008; Sasseron e Carvalho, 2008).

Das análises anteriormente apresentadas, vemos forte relação ao segundo destes eixos estruturantes da Alfabetização Científica, aquele que se refere à **compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática**. No entanto, os outros dois eixos também são contemplados com as propostas aqui observadas.

No primeiro episódio, por exemplo, com a discussão ali realizada, e a forma como ela é colocada dentro de uma sequência didática, encontramos subsídios para o professor trabalhar conceitos científicos com os estudantes. Podemos fazer tal afirmação pois o texto trabalha a natureza do calor e sua construção histórica, com a intenção também de que os estudantes aprendam as formas de se pensar sobre o calor, desde o calórico até a explicação pelo modelo cinético molecular. Isso nos remete ao primeiro eixo de Alfabetização Científica: a **compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais**.

Encontramos também nestes episódios, mais especificamente no trabalho realizado a partir do texto com a reconstrução de um episódio dos trabalhos de Galileu, o aparecimento de discussões que promovem o **entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente**, ao ressaltar os interesses dos cientistas ao aperfeiçoar a luneta.

Os textos foram selecionados por sua adequação ao conteúdo discutido em sala de aula, levando em consideração os objetivos dos professores em relação ao ensino de aspectos relacionados à Natureza da Ciência. Entendemos que as maiores dificuldades em relação a estas aplicações sejam o estabelecimento de relações com os objetivos de ensino, para a seleção de textos adequados, e a preparação do professor para trabalhá-los em sala de aula, a fim de construir com os estudantes concepções adequadas sobre ciências.

Entendemos assim, que o uso de textos históricos, quando bem aplicados e observando-se o seu papel dentro de uma sequência de ensino, podem ser elementos profícuos para se trabalhar diversas características do conhecimento científico e assim, para o direcionamento a um processo de Alfabetização Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRICCIA, Viviane. Visões sobre a Natureza da Ciência construídas a partir do uso de um texto histórico na escola média. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **10** (1): 1-22, 2011.

- KARVALHO, Anna Maria Pessoa; SANTOS, Emeson Izidoro; AZEVEDO, Maria Cristina Patternostro; DATE, Marlene da Silva; FUJII, Seiji Ricardo Sano; NASCIMENTO, Viviane Briccia. *Termodinâmica: um Ensino por Investigação*. São Paulo: FEUSP, 1999.
- CASTRO, Ruth Schmitz de. *História e epistemologia de ciência: investigando suas contribuições num curso de física de 2o grau*. Mestrado Educação) - Universidade de São Paulo, .1993.
- DRAKE, Stillman. *Telescopes, tides and tatics: a Galilean dialogue about the starrymessenger and systems of the world*. Chicago: The University of Chicago Press, 1983.
- FORATO, Thaís Cirino de Melo. *A Natureza da Ciência como saber escolar: Um estudo de caso a partir da história da luz*. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- FOUREZ, Gerard. *Alphabétisation Scientifique et Technique – Essai sur les finalités de l’enseignement des sciences*. Bruxelas: De Boeck-Wesmael, 1994.
- GIL PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernández; ALIS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho Científico. *Ciência & Educação* **7** (2): 125-153, 2001.
- GIL PÉREZ, Daniel; MACEDO, Beatriz; MARTÍNEZ TORREGROSA, José; SIFREDO, Carlos; VALDÉS, Pablo; VILCHES, Amparo (eds.). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: OREALC/ UNESCO, 2005. Disponível em: <<http://www.oei.es/decada/libro.htm>>. Acesso em: 16 agosto 2011.
- HARRES, João Batista Siqueira. Uma revisão das pesquisas de professores sobre a Natureza da Ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências* **4** (3): 197-211, 1999.
- HURD, Paul David. Scientific Literacy: New Minds for a Changing World. *Science Education* **82** (3): 407-416, 1998.
- KHALICK, Abid-el; LEDERMAN, Norman G. Improving Science Teachers’ Conceptions of Nature of Science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education* **22** (7): 665-701, 2000.
- KLASSEN, Stephen. The Construction and Analysis of a Science Story: A Proposed Methodology. *Science & Education* **18** (3–4): 401–423, 2009.
- LAUGKSCH, Rudi. Scientific Literacy: A Conceptual Overview. *Science Education* **84** (1): 71-94, 2000.
- LEDERMAN, Norman G. Nature of science: past, present, and future. Pp. 831-880, in: ABELL, Sandra K.; LEDERMAN, Norman G. (ed.). *Handbook of research on science education*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- MAGIE, William Francis. *A Source Book in Physics*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1935.
- MATTHEWS, Michael. Historia, Filosofía y Enseñanza de las ciencias: La aproximación actual. *Enseñanza de las ciencias* **12** (2): 255-277, 1994.
- . Science, worldviews and Education: An Introduction. *Science & Education* **18**: 641–666, 2009.

- METZ, Don; KLASSEN, Stephen; MCMILLAN, Barbara; CLOUGH, Michael; OLSON, Joanne. Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. *Science & Education* **16** (3–5): 313–334, 2007.
- NASCIMENTO, Viviane Briccia. *Visões de Ciências e Ensino por Investigação*. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- . A Natureza do Conhecimento Científico e o Ensino de Ciências. Pp. 35-57, in: CARVALHO, Anna Maria Pessoa (org.). *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2004.
- PRAIA, João; GIL PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da Natureza da Ciência na Educação para a Cidadania. *Ciência & Educação* **13** (2): 141-156, 2007.
- PORLÁN, Rafael; RIVERO, Ana. *El conocimiento de los profesores: una propuesta en el área de ciencias*. Sevilha: Diáda, 1998.
- SASSERON, Lúcia Helena. *Alfabetização científica no ensino fundamental: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula*. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Educação - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo).
- SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Almejando a alfabetização científica no Ensino Fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências* **13** (3): 333-352, 2008.
- SASSERON, Lúcia Helena; BRICCIA, Viviane; CARVALHO, Anna Maria Pessoa. O uso de textos históricos visando a Alfabetização Científica. In: Maria Helena Roxo Beltran, Fumikazu Saito, Rosana Nunes dos Santos & Wagner Wu. (Org.). *História da Ciência e Ensino: propostas, tendências e construção de interfaces*. São Paulo: Livraria da Física, 2009, v. 1, p. 96-106.
- SILVA, Cibele Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- SOLBES, Jordí; TRAVER, Manel. Resultados Obtenidos Introduciendo Historia de la Ciencia en las Clases de Física y Química: Mejora de la Imagen de la Ciencia y Desarrollo de Actitudes Positivas. *Enseñanza de las Ciencias* **19** (1): 151-162, 2001.
- VANNUCCHI, Andrea Infantsi. *Historia e Filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula*. São Paulo, 1996. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- . A relação Ciência, Tecnologia e Sociedade no Ensino de Ciências. Pp. 77-99, in: CARVALHO, Anna Maria Pessoa (org.). *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Cengage Learning, 2004.

CONCEPCIONES EPISTEMOLÓGICAS Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

María B. García *

Silvia Vilanova **

Sofía Sol Martín ***

Resumen: *Numerosos estudios indican que las concepciones que los docentes tienen sobre el conocimiento científico y su enseñanza se construyen de forma implícita a partir de la experiencia personal e influyen en las formas de planificar y gestionar las clases de ciencia. En este trabajo se indaga el contenido de las concepciones sobre el conocimiento científico y el aprendizaje en docentes universitarios de ciencias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, y la influencia que tiene el contexto de indagación (hacer ciencia vs. enseñar ciencia) en las respuestas dadas por los sujetos participantes. Los resultados muestran que el tema que un investigador elige para indagar las concepciones epistemológicas puede influir en los resultados obtenidos, ya que las concepciones implícitas tienen un carácter procedimental y situado. Es decir que, lo que un docente hace en su práctica no necesariamente está relacionado con lo que verbaliza y que puede modificarse según los escenarios en los que actúa.*

Palabras clave: *concepciones epistemológicas, conocimiento científico, contexto de indagación.*

EPISTEMOLOGICAL CONCEPTIONS AND SCIENCE TEACHING

Abstract: *Numerous studies indicate that the conceptions that professors have of scientific knowledge and teaching are implicitly built from their personal experience and, thus, influence their way of planning and managing science classes. This paper analyzes the contents of the conceptions of scientific knowledge and learning that a group of Science University Professors at the National University of Mar del Plata, Argentina have, as well as the impact that the context of inquiry (doing science against teaching science) has on the answers given by the participants. The results show that the item that a researcher chooses to inquire the epistemological conceptions can influence the results obtained due to the procedural and located nature of the implicit conceptions. This means that what a professor does in the teaching practice is not necessarily related to what he/she states and it can be modified according to the scenarios in which this person operates.*

Keywords: *epistemological conceptions – scientific knowledge – inquiry context*

* Doctora en Educación Científica, Profesora Adjunta Departamento de Educación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, República Argentina. bagarcia@mdp.edu.ar

** Magister en Psicología Social, Profesora Adjunta. Departamento de Educación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, República Argentina. svilano@mdp.edu.ar

*** Profesora y Licenciada en Biología, becaria de investigación Departamento de Educación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, República Argentina sofiasolmartin@yahoo.com

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consiste en el análisis del contenido de las concepciones epistemológicas, entendidas como ideas o creencias respecto de qué es el conocimiento y cómo se conoce, en un grupo de docentes universitarios de ciencias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Si bien el estudio de las concepciones de los sujetos ha sido abordado ampliamente como lo demuestran las importantes revisiones realizadas sobre el tema (Abd-El-Khalic & Lederman, 2000; Hofer & Pintrich, 2001; Koulaidis & Ogborn, 1995; Lederman, 1992; Porlan; Rivero & Del Pozo, 1998), el trabajo que aquí se presenta realiza un aporte en los siguientes aspectos poco indagados:

- En general, los trabajos realizados evalúan concepciones en estudiantes y en docentes de enseñanza media. El estudio de las concepciones epistemológicas en docentes universitarios de ciencias.
- Las influencia del contexto de indagación. Se describe no sólo el contenido de las concepciones sino también cómo se modifica dicho contenido cuando es indagado a partir de dos temas diferentes: la naturaleza del conocimiento científico y el aprendizaje de este conocimiento.

2. MARCO CONCEPTUAL

En general, la esencia de la ciencia se relaciona con la exploración del mundo que nos rodea, con la búsqueda de principios fundamentales y unificadores que constituyen el núcleo a partir del cual continuar esta exploración. Sin embargo, a lo largo de la historia estos principios han sido interpretados de diferentes maneras. Las primeras posiciones fueron dogmáticas, basadas en un realismo ingenuo y con una fe exagerada en sus principios (un representante de esta postura fue Heráclito de Éfeso, quien afirmaba que el arjé es el fuego y que los sentidos son los que nos muestran la realidad tal y como es). Las posiciones intermedias, entienden que los principios no gobiernan la ciencia, sino que resultan de teorías que, si bien se construyen con una intención realista, son provisorias en tanto representan acercamientos sucesivos a la realidad (acercamientos a estas corrientes pueden verse, con distintos matices, en las ideas de Kant, Hume, Popper). Por último, las posiciones más relativistas consideran que la teoría, siempre provisorio, no da una única explicación final sino que se la concibe como una imagen interpretativa, fuente de nuevos descubrimientos, generalizaciones y relaciones entre entidades simbólicas (expresadas en las epistemologías desarrolladas por Lakatos y Khun, entre otros). Estas tres posiciones y sus diferentes versiones, se encuentran presentes a lo largo de la historia de la ciencia y distribuidas a modo de concepciones epistemológicas tanto entre los investigadores científicos como en el universo de los docentes de ciencias. Es importante señalar, sin embargo, que esta distribución no es ortogonal sino que constituye un continuo donde aparecen variaciones intermedias y no sólo tres posiciones bien delimitadas.

En este trabajo no se pretende establecer una relación directa entre una postura epistemológica y una determinada concepción sobre la ciencia, ya que las concepciones

epistemológicas implícitas que se indagan aquí, son entendidas como ideas o creencias elaboradas como producto de la experiencia de cada individuo con el mundo y no como consecuencia de una instrucción formal en el tema. En este sentido, Hodson (1994) sostiene que las concepciones sobre el conocimiento científico que poseen los profesores de ciencias se forman, generalmente de manera implícita, a partir de sus propias experiencias de aprendizaje. De modo similar, Fourez (1994), las llama “filosofías espontáneas de las ciencias”, inculcadas por el contexto cultural.

2.1 Antecedentes sobre el tema

Con respecto al contenido de las concepciones y a partir del análisis de los estudios más relevantes realizados sobre el tema, se observa que aun persisten discrepancias en los resultados obtenidos. Por ejemplo, trabajos como los de Acevedo (1994) señalan que los docentes poseen rasgos empiristas, aunque destacan que no deberían encuadrarse de una manera simplista en un inductivismo radical o un realismo ingenuo. En esta línea también podrían ubicarse los resultados obtenidos por Pomeroy (1993) y Porlán; Rivero García & Martín del Pozo (1998) que concluyen que a mayor experiencia docente predomina la visión absolutista de la ciencia. Sin embargo, otros autores como por ejemplo Abd-El-Khalick & Lederman (2000) y Carvajal & Gómez Vallarta (2002), sugieren que los docentes de niveles superiores, expertos, poseen concepciones relativistas y más elaboradas. En una tercera apreciación, se agrupan trabajos que señalan que las concepciones que poseen los profesores acerca de la naturaleza del conocimiento científico no pueden encuadrarse dentro de una corriente filosófica particular dado que ellos responden en diferentes posiciones según el aspecto particular en que se les consulte (Manassero & Vázquez, 2000).

Las discrepancias que muestran los resultados de estas investigaciones pueden estar originados en los distintos pre-supuestos adoptados sobre la naturaleza representacional de las concepciones, en las dimensiones y categorías de las variables analizadas y/o en los diseños e instrumentos utilizados. La Tabla 1 resume las características de los estudios mencionados.

Si se analizan los resultados obtenidos respecto de la influencia que tiene el contexto que se utiliza para indagar el contenido de las concepciones, los resultados parecen, en principio, mostrar mayor acuerdo. En la Tabla 2 se resumen los trabajos más relevantes que han estudiado el problema.

Tabla. 1. Diseños de las investigaciones sobre concepciones sobre el conocimiento científico.

Autores	Supuestos sobre la naturaleza	Participantes	Dimensiones	Categorías	Resultados	Instrumento
Abd-El-Khalick & Lederman (2000)	Explícita e implícita	Alumnos de secundaria y expertos en ciencias	1) Naturaleza empírica del conocimiento científico 2) Naturaleza de las teorías científicas 3) Teorías científicas vs. Leyes 4) Creatividad en ciencia 5) Subjetividad en ciencia 6) Influencias sociales y culturales	Visiones ingenuas (Naive) Visiones informadas	Los expertos tienen visiones más informadas con excepción de la dimensión (6)	Cuestionios y entrevistas
Acevedo Díaz y Acevedo Romero (2000)	Explícita e implícita	Docentes de ciencias en formación	1) Posiciones sobre la excelencia del método científico. 2) Puntos de vista sobre la influencia del contexto. 3) Visión del cambio de los conocimientos científicos	Realismo/idealismo Objetivismo/ subjetivismo Absolutismo/ pluralismo Contextualismo/ no contextualismo Conocimiento cambiante/ Conocimiento establecido	Cuatro nuevas categorías que combinan posiciones diferentes según la dimensión	Cuestionario COCS más entrevista
Porlan; Rivero García & Martín Del Pozo (1998)		Docentes en formación y Docentes de secundaria	1) Imagen de la ciencia 2) Modelo didáctico personal 3) Teoría subjetiva del aprendizaje 4) Enfoque curricular	Conocimiento escolar como: Producto acabado y formal. Producto acabado a través de proceso técnico. Producto abierto a través de proceso espontáneo Producto abierto a través de proceso de construcción.	Predomina el producto acabado y formal A mayor experiencia más predomina la visión absolutista	Cuestionario

Pomeroy (1993)	Explícita	Docentes de ciencias y Científicos		a)Visión tradicional b)Visión no tradicional	Científicos y docentes de secundaria: visiones más tradicionales sobre la naturaleza del conocimiento, docentes de primaria, menos tradicionales	Escala Likert
Carvajal & Gómez Vallarta (2002)	Explícita e implícita	Docentes de ciencia nivel medio y superior	1)Origen del conocimiento 2)Desarrollo del conocimiento 3)Carácter de la actividad científica	Empirismo Constructivismo Constructivismo sociocultural	Predomina el constructivismo	Cuestionario más entrevista
Manassero Vazquez (2000)	- Explícita	Docentes de todos los niveles	1) Carga teórica de las observaciones. 2)Supuestos de la ciencia 3)Errores en la ciencia 4) Status epistemológico del conocimiento	Posiciones menos elaboradas hasta posiciones más elaboradas	1)Positivistas 2), 3) y 4) Eclécticos	Escala Likert

Tabla 2. Principales investigaciones respecto de la influencia del contexto de indagación en las concepciones.

Autores	Participantes	Contextos comparados	Resultados
Schommer, Dool & Barker (2003)	Alumnos universitarios	<ul style="list-style-type: none"> - Ciencias duras y ciencias blandas - Ciencias puras y ciencias aplicadas 	A través de 3 cuestionarios, se evaluaron las creencias epistemológicas de alumnos universitarios sobre matemática, ciencias sociales y negocios. Las correlaciones indican que las creencias epistemológicas de los alumnos eran similares sobre matemática y ciencias sociales, así como sobre matemática y negocios. Sin embargo, a mayor experiencia académica, se encontraron algunas pruebas de especificidad de dominio, apoyando la idea de que la dicotomía de generalidad y especificidad de dominio es una hipótesis que debe ser cuestionada.
Aldridge <i>et al.</i> (1997)	Docentes universitarios	<ul style="list-style-type: none"> - Ciencia - Ciencia escolar 	A través de un cuestionario (BASSSQ) y de entrevistas se identificaron las creencias de los docentes sobre la naturaleza de la ciencia, para aumentar la comprensión sobre el modo en que dichas creencias afectan la práctica docente. Las entrevistas indicaron que las respuestas de los docentes fueron influidas por: (1) sus perspectivas filosóficas que pueden hacer que equiparen a la ciencia con la ciencia escolar y (2) el contexto escolar que sirve como referente.
Bell y Lederman (2000)	Docentes universitarios (con y sin formación e interés en temas relacionados con la filosofía de la ciencia.)	<ul style="list-style-type: none"> - Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia. - Concepciones que subyacen a las decisiones relacionadas con la ciencia y la tecnología. 	A través de dos cuestionarios y una entrevista semi-estructurada, se compararon concepciones sobre la ciencia y sobre actitudes y decisiones sobre cuatro aspectos puntuales vinculados a ciencia, tecnología y sociedad. No se observa relación entre las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia y las que subyacen a las decisiones y actitudes sobre temas puntuales, en docentes con o sin formación epistemológica.
Tsai (2006)	Estudiantes universitarios	<ul style="list-style-type: none"> - Temas de Física - Temas de Biología 	A través de un cuestionario se consultaron 428 estudiantes universitarios sobre la naturaleza tentativa del conocimiento en Biología y en Física y las características creativas de dichos conocimientos. Los alumnos tuvieron una visión del conocimiento como más tentativo y más dinámico, cuando se los consulta sobre temas de Biología que cuando se lo hace sobre temas de Física. Los estudiantes con más años de instrucción en ciencias tienden a mostrar un mayor acuerdo con la creatividad del conocimiento tanto en Biología como en Física.
Sinatra <i>et al.</i> (1993)	Alumnos universitarios	a) Conocimiento de la evolución, la fotosíntesis y la respiración, (b) la aceptación de las teorías de la evolución animal, la evolución humana, y la fotosíntesis, y (c) las creencias epistemológicas y disposiciones cognitivas	Se consultaron 93 estudiantes de biología sobre las cuestiones señaladas. Se observó una relación significativa entre a) y b) para la evolución y la fotosíntesis pero no para la respiración. Las creencias epistemológicas se relacionan con la aceptación de la evolución humana. No hubo relación entre las creencias epistemológicas y la aceptación general de la evolución animal o la fotosíntesis.

Estes <i>et al.</i> (2003)	Alumnos universitarios	<ul style="list-style-type: none"> - Temas de Física - Temas de Biología 	La presunción de que las creencias epistemológicas acerca de la naturaleza, fuentes y límites del conocimiento son similares en los distintos dominios, fue puesta a prueba comparando las creencias de estudiantes universitarios sobre la investigación en psicología y biología en EEUU y el Reino Unido, a través de respuestas a un juego de afirmaciones epistemológicas relevantes acerca de cada campo del conocimiento. Las creencias más negativas en ambos grupos fueron acerca de la investigación del desarrollo en psicología. Estos resultados muestran que las creencias epistemológicas pueden variar sustancialmente entre campos estrechamente relacionados dependiendo del contexto de indagación.
Pecharromán & Pozo (2006)	Alumnos de enseñanza secundaria y universitaria	<ul style="list-style-type: none"> - Ciencias Naturales - Conocimiento Moral 	Los estudiantes se manifiestan significativamente más objetivistas y menos relativistas en ciencias naturales y esto es más evidente en su comparación con el conocimiento moral.

Como puede observarse, los resultados muestran que las concepciones epistemológicas que posee una persona se modificarían al cambiar el tema sobre el que se la indaga. No obstante, dado que el número de investigaciones realizadas es escaso, particularmente en docentes universitarios, resulta imprescindible obtener mayor evidencia empírica antes de aventurar una conclusión. El presente trabajo se propone realizar un aporte en este sentido, analizando de qué manera se modifican las concepciones cuando la temática varía entre la naturaleza del conocimiento científico y su aprendizaje.

3. MÉTODO

Una de las principales dificultades para acumular evidencias sobre concepciones epistemológicas reside en seleccionar la metodología adecuada. Las investigaciones llevadas a cabo hasta el momento han utilizado, básicamente, dos métodos alternativos para recoger la información: mientras que un grupo de ellas se ha valido de entrevistas, cuestionarios y otros tipos de instrumentos que recogen esencialmente conocimiento explícito de los sujetos como por ejemplo, las realizadas por Aldbridge, Taylor & Chi Chen (1997); Hammer (1994); McGinnis y otros (1997); Schommer (1990), otros trabajos, más cercanos al estudio de niveles representacionales implícitos, han utilizado enfoques cualitativos o etnográficos en los que se infiere la presencia de las representaciones implícitas a partir de la actividad de los sujetos en contextos naturales de interacción, basándose en registros observacionales tales como los elaborados por Baena (2000); Belenky (1986); Perry (1970); Samuelowiwcs (1999).

Si bien los estudios cualitativos permiten obtener información más rica y se resuelven problemas como los del contexto, tienen dificultades relacionadas con el tamaño y representatividad de la muestra, que no presentan los estudios cuantitativos. Se produce, así, una tensión entre las posibilidades de recoger profundidad o cantidad de información, obligando a tomar una decisión de compromiso.

Para poder tener en cuenta la perspectiva teórica adoptada para realizar el trabajo y, a su vez, consultar a un número representativo de docentes, se optó por utilizar cuestionarios de

dilemas. Los dilemas, a diferencia de otro tipo de instrumentos como las escalas Likert, obligan a decantar las posiciones. Si bien es cierto que, como puede observarse en los diferentes ítems de los instrumentos elaborados (ver Apéndice), muchas de las alternativas hacen afirmaciones que pueden considerarse acertadas, el profesor tiene que inclinarse finalmente por una: aquella que, sin ser con seguridad la que reúne todos los matices que podrían reflejarse en una respuesta producida por el propio docente, se aproxima mejor a su concepción del problema planteado. Por otra parte, el cuestionario de dilemas tiene carácter argumentativo, es decir, una misma posición puede defenderse por razones diferentes. En los ítems del cuestionario se ofrecen los argumentos de cada una de las alternativas. Por último, los dilemas permiten contextualizar las respuestas, en línea con el marco teórico de las teorías implícitas que destaca su carácter contextual.

En síntesis, los cuestionarios de dilemas constituyen una opción válida que permite el acceso a diferentes niveles representacionales y resuelven el problema de la representatividad de la muestra. Sin embargo, dada la no conveniencia de encuadrar las concepciones de las personas en categorías tan definidas como las que surgen de una metodología puramente cuantitativa, actualmente se están complementando estos datos a través de entrevistas en profundidad y observaciones de las prácticas docentes.

3.1 Participantes: 100 docentes universitarios de ciencias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, República Argentina.

3.2 Variables en estudio

Variable dependiente (Vd1): *Concepciones sobre el conocimiento.*

Definición: ideas y creencias que poseen las personas respecto de qué es el conocimiento y en qué consiste el proceso de conocer.

Categorías de la variable: Se establecieron las siguientes categorías a priori, tomando como base las categorías clásicas de la epistemología acerca de los principios que subyacen a los diversos tipos de representaciones en el ámbito del conocimiento, y teniendo en cuenta los resultados de los principales estudios realizados hasta el momento. Pozo & Pecharromán (2006); Aldridge *et al.* (1997); Saunders *et al.* (2002); Adb- El Khalick & Lederman (2000); Koulaidis & Ogborn (1989); Porlán (1994; 1998):

Nivel de medición de la variable: Tanto la variable como sus dimensiones son categóricas, siendo su nivel de medición nominal, como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Categorías establecidas para la variable “Concepciones sobre el conocimiento científico”.

Categoría	Posiciones que predominan
POSICIÓN I	Dogmatismo, objetivismo-realismo ingenuo, empirismo
POSICIÓN II	Criticismo, objetivismo-realismo crítico, intelectualismo
POSICIÓN III	Relativismo, subjetivismo-fenomenalismo, apriorismo

Variable dependiente (Vd2): *Concepciones sobre el aprendizaje.*

Definición: teorías no formales que adquieren los docentes respecto de qué es aprender, cómo se aprende, qué se aprende y qué y cómo se evalúa.

Categorías de la variable: para categorizar la variable se siguió la propuesta de Pozo & Scheuer, (2000); Pozo *et al.* (2006), estableciéndose tres categorías descriptas en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías establecidas para la variable “Concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje”.

Categoría	Posiciones que predominan
1. Teoría Directa	Realismo ingenuo. Dualismo. El conocimiento refleja el objeto con fidelidad, aunque con diversos grados de plenitud o exhaustividad. Hay conocimientos parciales y conocimientos completos. Teorías conductistas del aprendizaje
2. Teoría interpretativa	Realismo interpretativo. Pluralismo. El conocimiento refleja el objeto de manera algo borrosa o distorsionada. Esa distorsión puede reducirse, o incluso eliminarse, mediante el empleo de técnicas adecuadas de detección, medición, contrastación, etc. Teorías del aprendizaje ligadas al procesamiento de la información
3. Teoría Constructiva	Constructivismo. Relativismo. El conocimiento es una construcción elaborada en un contexto social y cultural en relación con ciertas metas. Esa construcción proporciona modelos tentativos y alternativos para interpretar el objeto, cada uno de ellos con diferentes niveles de adecuación según el contexto en que se apliquen y su potencia explicativa

Nivel de medición de la variable: nominal.

3.3 Materiales

Por las razones señaladas antes, para recolectar los datos se optó por utilizar dos *cuestionarios de dilemas*. Para su construcción, se realizó una búsqueda bibliográfica por medio de la cual se encontraron distintas propuestas de cuestionarios. Si bien estos instrumentos fueron tenidos en cuenta para el diseño, no se utilizaron tal como se presentaban debido a distintas razones (porque estaban orientados a docentes de otros niveles de enseñanza, porque indagaban concepciones explícitas, porque no tenían en cuenta el contexto de indagación, etc.). Finalmente, se optó por adaptar un cuestionario de dilemas sobre la enseñanza y el aprendizaje (Vilanova et ál.,2007) y por construir un cuestionario de dilemas sobre el conocimiento científico con similares características. Para la construcción de este último, se tuvieron en cuenta tanto las dimensiones de la variable como las características de la población que comprende el estudio. El instrumento definitivo consistió en un cuestionario compuesto por 10 dilemas, cada uno de ellos destinado a evaluar alguna de las dos dimensiones de la variable, con tres opciones de respuesta, correspondientes a las tres categorías establecidas (Posiciones I, II y III), sometido previamente a un proceso de validación. Para un mayor detalle sobre la construcción y validación de estos instrumentos puede consultarse Vilanova; García & Señorío, 2007; García; Mateos & Vilanova, 2007; García & Vilanova, 2008.

En el Apéndice se presentan, a modo de ejemplo, algunos de los dilemas que conforman ambos instrumentos:

- A.** Cuestionario de dilemas “*Concepciones sobre el Conocimiento Científico*”: consistente en 10 dilemas con tres categorías de respuesta, distribuidos en función de las dimensiones establecidas para la variable como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Distribución de dilemas en el cuestionario para evaluar concepciones sobre el conocimiento científico.

	Naturaleza del conocimiento		Naturaleza del proceso de adquisición del conocimiento		Influencia del contexto de indagación
Dilemas	Posibilidad	D6, D8, D3	Origen	D4, D7, D10	D5
	Esencia	D1, D2, D9			

- B.** Cuestionario de dilemas “*Concepciones sobre la Enseñanza y el Aprendizaje*”: consistente en 10 dilemas con tres categorías de respuesta, distribuidos en función de las dimensiones establecidas para la variable como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Distribución de dilemas en el cuestionario para evaluar concepciones sobre el aprendizaje.

	Qué es aprender	Qué se aprende	Cómo se aprende	Qué y cómo se evalúa
Dilemas	D1, D2,	D3, D4	D5, D6, D7	D8, D9, D10

3.4 Procedimiento

Para indagar el contenido de las concepciones se calculó la distribución de frecuencias relativas para cada alternativa de los dilemas planteados en cada uno de los cuestionarios utilizados.

Para analizar la influencia del contexto de indagación sobre el contenido de las concepciones epistemológicas se estudió si las posiciones tomadas en las *Concepciones sobre el Conocimiento Científico* se relacionan con posiciones tomadas en las *Concepciones sobre la Enseñanza y el Aprendizaje*, es decir si, por ejemplo, alguien que responde mayormente en la posición epistemológica caracterizada como I y asociada al realismo ingenuo, posee concepciones sobre el aprendizaje que podrían encuadrarse en la teoría directa.

Se comenzó por comparar los resultados de los dos cuestionarios tomados. Se calculó la correlación Rho de Spearman (para datos ordinales) y luego se calcularon las correlaciones entre las puntuaciones parciales entre cada posición epistemológica y cada teoría sobre el aprendizaje.

Luego se evaluaron estas correlaciones pero, en lugar de tomar a cada cuestionario como un todo, se lo hizo cruzando todos los dilemas y analizándolos en particular. Se utilizaron tablas de contingencia en las que se cruzaron las tres posiciones epistemológicas (Posición I, II y III) con las tres teorías de dominio sobre el aprendizaje (T1, T2 y T3). Se utilizó la prueba Chi Cuadrado con un nivel de significación del 5%.

4. RESULTADOS

4.1 Contenido de las concepciones sobre el conocimiento científico

Las figuras 1a, 1b y 1c muestran los resultados obtenidos en este contexto de indagación

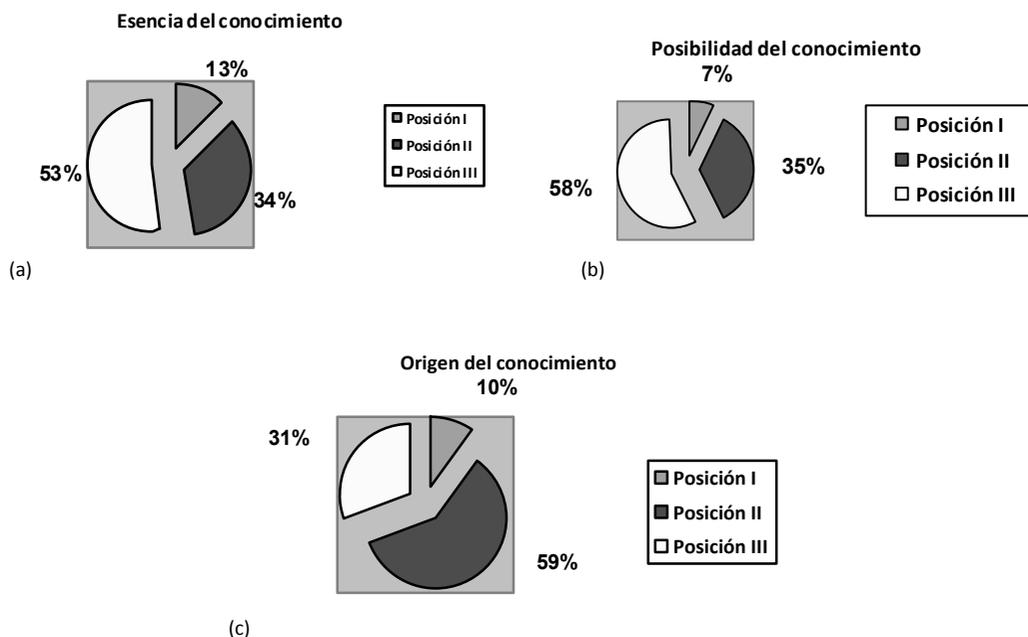


Figura 1. (a) Esencia del conocimiento; (b) Posibilidad del conocimiento; (c) Origen del conocimiento.

Se observa una variación en la posición más elegida de acuerdo al aspecto evaluado. Mientras que respecto de la esencia y posibilidad del conocimiento (Naturaleza del conocimiento), la opción más adoptada fue la “Posición III”, en el caso del origen y método (Naturaleza de la adquisición del conocimiento), predomina la “Posición II”.

4.2 El contenido de las concepciones sobre el aprendizaje

Las figuras 2a, 2b y 2c muestran la distribución de respuestas relacionadas con los diferentes aspectos evaluados en las concepciones sobre el aprendizaje

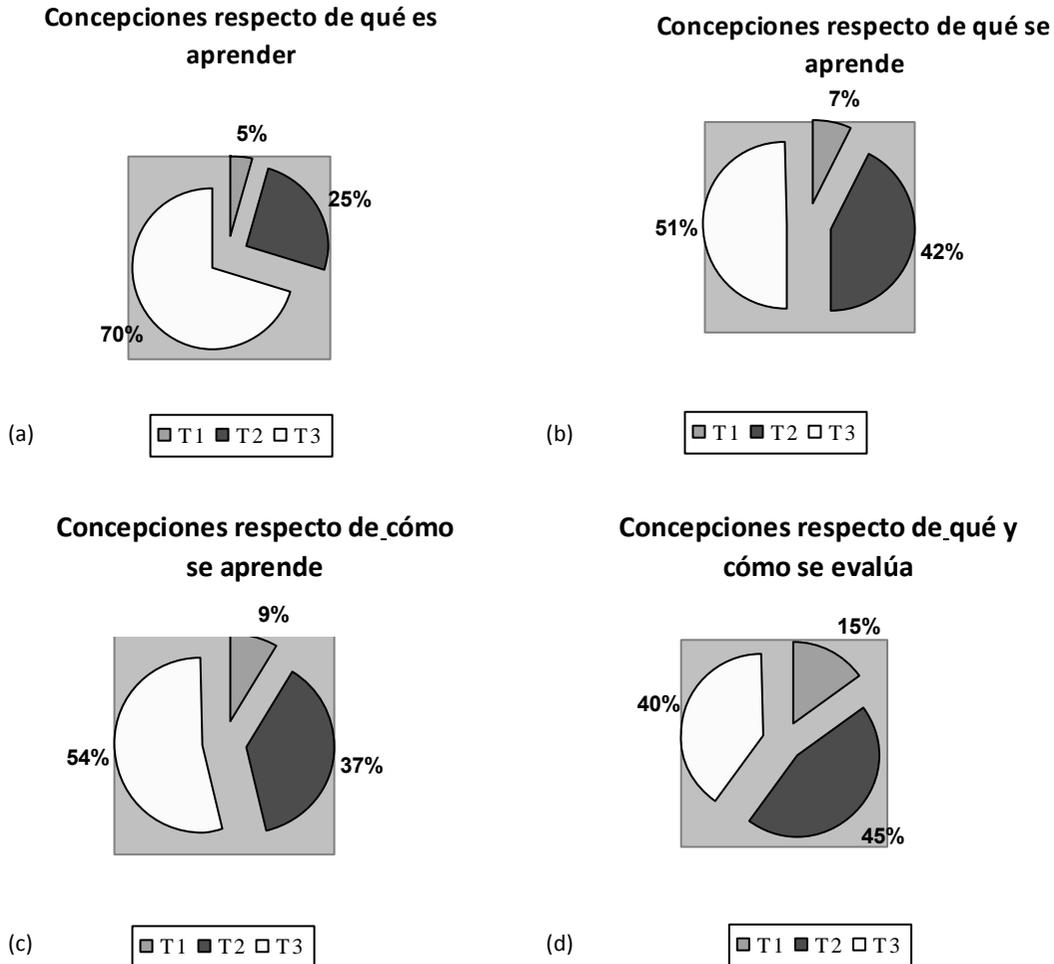


Figura 2: (a) Concepciones sobre qué es aprender; (b) Concepciones sobre qué se aprende; (c) Concepciones sobre cómo se aprende; (d) Concepciones sobre la evaluación.

Se puede observar que la teoría constructiva predomina sobre la interpretativa en todos los casos, con excepción del aspecto referido a qué y cómo se evalúa, en el que se impone la teoría interpretativa y el peso de la teoría directa es mayor.

4.3 Influencia del contexto de indagación sobre el contenido de las concepciones

La rho de Spearman arrojó como resultado que no existe una correlación significativa ($r = -0.135$, $p = 0,179$) entre las variables *Concepciones sobre el Conocimiento Científico* y *Concepciones sobre la Enseñanza y el Aprendizaje*.

El cálculo de las correlaciones entre las puntuaciones parciales PI-T1, PII-T2 y PIII-T3, muestra que en dos de los tres casos la correlación entre las posiciones epistemológicas relacionadas con el conocimiento científico y las posiciones sobre el aprendizaje no es significativa: P1/T1 ($r = -.72$, $p=.480$); P2/T2 ($r = .144$, $p = .153$). En cambio, la correlación P3/T3 sí es estadísticamente significativa ($r = .225$, $p = .025$). Por lo tanto, se puede afirmar que los docentes que tienden a mantener puntuaciones altas en la posición III, de carácter relativista en relación con el conocimiento científico (P3) tienden también a mantener posiciones constructivistas respecto del aprendizaje y la enseñanza (T3).

En la Tabla 7 se detallan las correlaciones positivas encontradas como resultado de la prueba chi cuadrado sobre las tablas de contingencia, en las que se cruzaron las tres posiciones epistemológicas (Posición I, II y III) evaluadas a través de los diez dilemas correspondientes al cuestionario *Concepciones sobre el Conocimiento Científico* (identificados con la letra "E") con las tres teorías de dominio sobre el aprendizaje (T1, T2 y T3), evaluadas por medio de los diez dilemas correspondientes al cuestionario *Concepciones sobre el aprendizaje* (identificados con la letra "A").

Tabla 7: Correlaciones entre posiciones sobre el conocimiento científico y teorías de dominio sobre el aprendizaje.

	A1	A2	A8	A5
E9	PII/T1			
E7	PI/T2	PI/T1		
E3			PII/T1	
E1				PII/T1

Se observa que las relaciones de dependencia se dan entre la teoría directa y posición I, entre la teoría directa y la posición II y, en un caso, entre la teoría interpretativa y la posición I.

5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran concepciones sobre el conocimiento científico asociadas al relativismo y al fenomenalismo cuando se indaga a los docentes respecto de la posibilidad y la esencia y concepciones asociadas al intelectualismo respecto del origen. Con respecto al aprendizaje, los resultados expresan concepciones constructivistas en los aspectos relacionados con el qué y el cómo del aprendizaje, no así con respecto a la evaluación de lo aprendido.

El análisis de la influencia del contexto de indagación (hacer ciencia vs enseñar ciencia) sobre el contenido de las concepciones arrojó como resultado que las mismas no están relacionadas. Se puede decir, entonces, que *las concepciones epistemológicas varían con el contexto de indagación*, que el hecho de que un docente tenga una posición determinada, por ejemplo, sobre la naturaleza del conocimiento, no implica que esa posición la mantenga

cuando se traslada el contexto de la pregunta al ámbito del aprendizaje. Sin embargo, se encontró una asociación entre la Posición III (Relativismo, subjetivismo-fenomenalismo, apriorismo) de las concepciones sobre el cocimiento científico y la teoría constructiva (T3) sobre el aprendizaje. Esta asociación podría explicarse a partir del hecho de que ambas categorías corresponden a una concepción epistemológica contra-intuitiva como lo es el relativismo y que, por lo tanto, existe muy poca probabilidad de haberla aprendido como fruto de la experiencia personal ya que requiere de cierto grado de elaboración.

¿Qué influencia puede tener en la enseñanza de las ciencias que las concepciones epistemológicas de los docentes universitarios sean predominantemente relativistas respecto de la naturaleza del conocimiento? En principio el resultado obtenido podría considerarse alentador ya que el conocimiento científico no debiera ser presentado desde una sola perspectiva epistemológica, dando por hecho que hay una única manera para explicar la naturaleza de la ciencia, un solo paradigma capaz de explicar los problemas sociales o filosóficos del mundo científico. Presentar de manera estática la ciencia va a contramano de las diferentes recomendaciones realizadas por especialistas en el tema respecto de la necesidad de proporcionar a los alumnos diversos puntos de vista sobre un tema en particular, para que puedan analizar y valorar críticamente los conceptos científicos. Así, el profesor debe presentar un *perfil conceptual* (Mortimer, 2001)¹ a través del cual se transmita la naturaleza dinámica del conocimiento.

No obstante, una reflexión en torno a este punto exige destacar que el hecho de que los docentes posean concepciones que implican ciertos supuestos sobre el conocimiento científico como la provisionalidad y una visión filosófica y sociológicamente más rica y reflexiva sobre la ciencia y el trabajo científico, no garantiza que esta visión se traslade al aula ya que los resultados del análisis de la influencia del contexto muestran que no están asociadas. En su práctica docente, además, inciden otros factores que hacen que resulte difícil conservar la coherencia entre su propia perspectiva teórica sobre la naturaleza de la ciencia y su actuación docente. Por esta razón resulta imprescindible trabajar sobre la formación de los docentes a través de la incorporación de espacios donde se promueva la reflexión del profesorado sobre estos aspectos, incorporando las cuestiones epistemológicas al currículum.

Esta dificultad para trasladar a la práctica los conocimientos adquiridos durante su formación profesional se podría explicar a partir de la asunción, por parte de la Universidad, de corte racionalista, de que los saberes verbales son superiores a los saberes prácticos, dando por sentado que el solo hecho de proporcionar información verbal sobre las nuevas formas de entender el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias es suficiente para producir un cambio en la forma de actuar en el aula, particularmente en las cuestiones relacionadas con la evaluación, concepciones que demostraron corresponder a teorías interpretativas con un realismo crítico subyacente.

¹ “El presupuesto básico es que en cualquier cultura o persona no existe una única forma homogénea de pensar sino diferentes tipos de pensamiento verbal. He tratado de caracterizar esta heterogeneidad del pensamiento verbal en términos de un *perfil conceptual* que reconoce la coexistencia en el individuo de dos o más significados para una misma palabra o concepto, que se emplean correctamente en diferentes contextos. Esta coexistencia es posible también en un concepto científico en el que la visión clásica y moderna de un mismo fenómeno no es siempre equiparable”. Mortimer, 2001, p. 488

Por último cabe aclarar que, como en toda investigación científica, se ha realizado un recorte de la realidad y, por lo tanto, los resultados obtenidos son acotados y solo pueden analizarse dentro de determinados límites. Estos límites provienen de:

a) el tipo de instrumentos empleados para acceder a las concepciones, es decir, los problemas asociados a la metodología y a los instrumentos de recolección de datos. Si bien el planteo de dilemas permite preguntar de manera indirecta y contextualizada, se hace necesario complementar el abordaje del problema desde metodologías más cualitativas que permitan obtener otro tipo de información, etapa en la que nos encontramos actualmente. Se están llevando a cabo estudios que implican la observación más o menos directa del desempeño de los docentes en ámbitos educativos, para poder inferir, a partir de sus predicciones y actuaciones las concepciones subyacentes, tal como lo han recomendado Pérez Echeverría *et al.* (1998) y Limón, (2006) entre otros; también se están profundizando los datos obtenidos a partir de entrevistas en profundidad con algunos participantes seleccionados.

b) del tamaño y representatividad de la muestra, que hace difícil la generalización de los resultados. Se están realizando estudios con docentes de Facultades de Ciencias Sociales de la misma Universidad, que no fueron incluidas en la primera etapa de la investigación, como así también con docentes de Ciencias Exactas de otras Universidades.

c) de la naturaleza fundamentalmente descriptiva pero no explicativa del trabajo, lo que justifica la necesidad de investigar los mecanismos de formación, de interacción y de cambio de las concepciones, tal como lo sugieren Limón (2006) y Hofer (2006).

d) de haber partido del supuesto de que las concepciones influyen sobre la forma de enseñar ciencia; hasta el momento, sólo se han investigado las concepciones y su relación con la práctica docente está siendo indagada.

APÉNDICE:

Algunos ejemplos de dilemas para indagar concepciones implícitas sobre el conocimiento científico:

A continuación se presentan algunas situaciones y las respuestas o comentarios de algunos docentes. Indique en cada caso con cuál de ellas concuerda Ud.

Dilema 6-A continuación se presenta un diálogo entre personas que están discutiendo acerca de si la teoría de la evolución es científica o no. ¿Qué persona refleja mejor sus ideas al respecto?

Esteban: A mi me parece que la teoría de la evolución no es científica. Explica demasiado y es difícil de someterla a experimentación. El Darwinismo describe acontecimientos singulares, algo no repetible y, por lo tanto, no accesible a los experimentos. No puede ser científica. (Posición I)

Carlos: Con tu criterio sería imposible probar que el mundo existió ayer. Si bien la experimentación es un punto de partida imprescindible, las teorías se obtienen por un proceso que va más allá de los datos. Además, lo importante y lo que realmente la hace científica es su poder predictivo. Por ejemplo: si se propone la hipótesis de que los osos polares con piel más gruesa sobrevivirán al gélido invierno ártico, se puede contrastar dicha hipótesis y establecer si la teoría puede explicar o no la realidad. (Posición II)

Pedro: estoy de acuerdo con Carlos en que lo que hace científica una teoría, en este caso la de la evolución de Darwin, es su poder predictivo; pero no coincido con que el punto de partida sea la experimentación. Para mí, cuando Darwin comenzó a experimentar, ya tenía una teoría en mente. Cualquier conocimiento parte de la razón y luego viene la experimentación. (Posición III)

- a) Esteban
- b) Carlos
- c) Pedro

Dilema 8-La imagen que se presenta en la Figura 3 corresponde a un trozo de grafito (sustancia formada por átomos de carbono), observada con un microscopio de efecto túnel cuya resolución es del orden de $1 \times 10^{-12} \text{m}$ (aproximadamente el tamaño de un átomo). Observe la imagen: ¿qué ve?

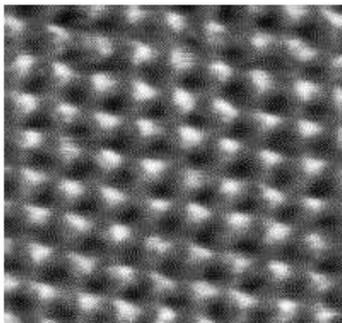


Figura 3: Imagen de una muestra de grafito.

- a) Sólo puedo decir que esa es la imagen que brinda el microscopio de una muestra de grafito. No aseveraría que se ven átomos. Eso sería una interpretación personal influenciada por el enunciado de este dilema. (Posición III)
- b) Si se interpreta la imagen desde la teoría cuántica, se observan los átomos de carbono formando la estructura predicha por la ciencia para el grafito (Posición II)
- c) La confirmación empírica de los átomos de carbono arreglados tal como lo postula la ciencia para el caso del grafito. (Posición I)

Algunos ejemplos de Dilemas para indagar concepciones sobre la enseñanza y el aprendizaje

En una reunión de departamento los profesores están discutiendo acerca de distintos temas que tienen que ver con la enseñanza. Frente a cada tema, se exponen los diferentes puntos de vista que aparecen. Para cada tema, le pedimos que señale la posición que representa mejor su opinión:

Dilema 2: Con respecto a las ideas previas de los alumnos, las principales opiniones fueron:

- a) Son importantes fundamentalmente para el alumno, porque conocerlas le permite reflexionar sobre sus propias ideas, contrastarlas con los modelos científicos y construir a partir de ellas su nuevo aprendizaje.
- b) No es demasiado importante conocerlas, porque van a ser reemplazadas por los nuevos contenidos a aprender.
- c) Es útil conocerlas, sobre todo para el docente, ya que le permite mostrarle al alumno la diferencia entre sus ideas y las de la ciencia, que son las correctas.

Dilema 5: En cuanto a los objetivos principales de una asignatura son:

- a) Procurar que los alumnos desarrollen estrategias que les permitan asignarle significado a lo que aprenden.
- b) Procurar que los alumnos adquieran todos los conocimientos básicos fundamentales, ya que con el tiempo lograrán darles significado.
- c) Procurar que los alumnos razonen y comprendan lo más posible, aunque no siempre lo logren en el caso de los contenidos más complejos.

Dilema 11: Respecto de las ventajas y los inconvenientes de hacer los exámenes permitiendo que los alumnos tengan el material de estudio delante:

- a) No es una buena idea porque los alumnos no hacen el esfuerzo de estudiar los contenidos para la prueba.
- a) Es una buena idea porque esto podría permitir valorar si los alumnos son capaces de utilizar la información disponible para elaborar su propia respuesta.
- b) Puede ser una buena idea siempre y cuando se acompañe con alguna otra tarea que permita comprobar que el alumno conoce la información.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABD-EL-KHALIC, F.; LEDERMAN, Norman. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education* **22**: 665-701, 2000.
- ACEVEDO DIAZ, José Antonio. Los futuros profesores de enseñanza secundaria ante la sociología y la epistemología de las ciencias. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **19**: 111-125, 1994.
- ACEVEDO DÍAZ, J. y ACEVEDO ROMERO, G. Algunas creencias sobre el conocimiento científico de los profesores de educación secundaria en formación inicial. *Bordón*, **52** (1), 5-16, 2000.
- ALDRIDGE, J.; TAYLOR, P.; CHI CHEN, Ch. *Development, Validation and Use of the Belief about Science and School Science Questionnaire*. Disponible en: <http://www.chem.arizona.edu/tpp/basssq.pdf>. Acceso: 2 mayo de 2010.
- BAENA, M.D. Pensamiento y acción en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, **18**(2): 217-226, 2000.
- BELENKY, M.F., CLINCHY, B.M., GOLDBERGER, N. R., y TARULE, J.M. *Women's ways of knowing: The development of self, voice and mind*. New York: Basics Books, 1986 in Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, **67**(1), 88-140, 1997.
- BELL, R. L. y LEDERMAN, N. G. The nature of science in decision-making: lead role, supporting character, or out of the picture? En P. A. Rubba, J. A. Rye, P.F. Keig y W. J. Di Biase (Eds.), *Proceedings of the 2000 annual International Conference of the Association for Science Teacher Education* (pp. 470-507). Pensacola, FL: ASTE, 2000.
- CARVAJAL CANTILO, Enna; GÓMEZ VALLARTA, María del Rocío. Concepciones y representaciones de los maestros de secundaria y bachillerato sobre la naturaleza, el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* **7** (16): 577-602, 2002.
- ESTES, D.; CHANDLER, M.; HORVATH, K.; BACKUS, D. American and British college students' epistemological beliefs about research on psychological and biological development. *Journal of Applied Developmental Psychology* **23** (6): 625-630, 2003.
- FOUREZ, Gerard. *La construcción del conocimiento científico: filosofía y ética de la ciencia*. Madrid: Narcea, 1994.
- GARCÍA, María; MATEOS, Mar; VILANOVA, Silvia. Las concepciones epistemológicas de los profesores universitarios de química. *Educación Química* **18** (2): 133-138, 2007.
- GARCÍA, María; VILANOVA, Silvia. Diseño y validación de un instrumento para analizar concepciones implícitas sobre el aprendizaje en profesores de matemática en formación. *REIEC. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias* **3**(2): 27-34, 2008.
- HAMMER, D. Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, **12**(2): 151-183, 1994.
- HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education* **14**: 541-562, 1994.

- HOFER, Bárbara; PINTRICH, Paul. *Personal Epistemology. The psychology of belief about knowledge and knowing*. Londres: LEA, 2001.
- HOFER, Bárbara. Domain specificity of personal epistemology: Resolved questions, persistent issues, new models. *International Journal of Educational Research* **45** (1-2): 85-95, 2006.
- KOULALIDIS, Vasilis; OGBORN, Jon. Philosophy of Science: an Empirical Study of Teachers' views. *International Journal of Science Education* **11** (2): 173-184, 1989.
- KOULALIDIS, Vasilis ; OGBORN, Jon. Science Teachers' Philosophical Assumptions: How well do we understand them? *International Journal of Science Education* **17** (3): 273-283, 1995.
- LEDERMAN, Norman. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching* **26** (9): 771-783, 1992.
- LIMÓN, Margarita. The domain generality specificity of epistemological belief. A theoretical problem, a methodological problem or both? *International Journal of Educational Research* **45** (1-2):7-27, 2006.
- MC GINNIS, S., GREBER A. y WATANABE, T. Development on an instrument to measure teachers candidates' attitudes and beliefs about the nature of and the teaching of mathematics and science. *Annual meeting of the National association for Research in Science teaching*. Oak Brook Illinois, March, 21-24, 1997.
- MANASSERO, María; VÁZQUEZ ALONSO, Ángel. Creencias del profesorado sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* **37**: 187-208, 2000.
- MORTIMER, Eduardo. Perfil Conceptual: formas de pensar y hablar en las clases de ciencias. *Infancia y Aprendizaje* **24** (4): 475-490, 2001.
- PECHARROMÁN, Ana; POZO, Juan Ignacio. ¿Cómo sé que es verdad? Epistemologías intuitivas de los estudiantes sobre el conocimiento científico. *Investigaciones em Ensino de Ciências* **11** (2): 88-98, 2006.
- PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P., POZO, J. I., PECHARROMÁN, A., CERVI, J. y MARTÍNEZ, P. Las concepciones de los profesores de educación secundaria sobre el aprendizaje y la enseñanza. In Pozo, J.I., Scheuer, N., Pérez Echeverría, M.P., Mateos, M., Martín, E. y de la Cruz, M. (Eds.), *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona:Graó, 2006.
- PERRY, W. G. Forms of intellectual and ethical development in the college years: A scheme. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1970 in Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88-140, 1997.
- POMEROY, D. Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education* **77** (3): 261-278, 1993.
- PORLÁN ARIZA, Rafael. Las concepciones epistemológicas de los profesores. El caso de los estudiantes de magisterio. *Investigación en la Escuela* **22**: 67-84, 1994.
- PORLÁN ARIZA, Rafael; RIVERO GARCÍA, Ana; MARTÍN DEL POZO, Rosa. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias* **16** (2), 271-288, 1998.

- POZO, Juan Ignacio; SCHEUER, Nora. Las concepciones sobre el aprendizaje como teorías implícitas (Pp. 197-218), *in*: POZO, Juan Ignacio; MONEREO, Carlos (eds.). *El aprendizaje estratégico. Enseñar a aprender desde el currículo*. Madrid: Santillana, 2000.
- POZO, Juan Ignacio; SCHEUER, Nora; MATEOS, Mar; PÉREZ ECHEVERRÍA, María del Puy. Las teorías implícitas sobre el aprendizaje y la enseñanza (pp 95-132) *in*: POZO, Juan; SCHEUER, Nora; PÉREZ, M. *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje: las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona: GRAO, 2006.
- SINATRA, G. M., SUTHERLAND, S. A., MCCONAUGHY, F., Y DEMASTES, J. W. Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, **40**(5): 5, 510-528, 2003.
- SCHOMMER AIKINS, Marlene; DUELL, Orpha; BARKER, Sue. Epistemological beliefs across domains using Biglan's classification of academic disciplines. *Research in Higher Education* **44**: 347-366, 2003.
- SCHOMMER, M. Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, **82**(3): 498-504, 1990.
- TSAI, Chin-Chung. Reinterpreting and reconstructing science: teachers' view changes toward the nature of science by courses of science education. *Teaching & Teacher Education* **22**: 363-375, 2006.
- VILANOVA, Silvia; GARCÍA, María; SEÑORIÑO, Orlanda. Concepciones acerca del aprendizaje: diseño y validación de un cuestionario para profesores en formación. *Revista Electrónica de Investigación Educativa* **9** (2): 1-21, 2007.

REPRESENTACIONES SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS CIENTÍFICOS EN EL DISCURSO DE LOS DOCENTES DE CIENCIAS DE SECUNDARIA

María Teresa Guerra-Ramos*

Resumen: Se exploraron las representaciones de 16 profesores de secundaria sobre los procedimientos de indagación científica. Se diseñó una situación pedagógica hipotética que incluía descripciones de acciones y se pidió a los docentes argumentar si las incluirían en una clase como ejemplos de procedimientos científicos. Las respuestas se incorporaron y exploraron con mayor detalle en una entrevista individual semi-estructurada. El análisis cualitativo de las respuestas reveló una tendencia a considerar las descripciones provistas como ejemplos de la aplicación de ciertos procedimientos científicos. Para argumentar si se trataba o no de un procedimiento científico, los docentes se refirieron al dominio científico o no científico y al propósito investigativo o no investigativo. El uso de conocimiento disciplinario para ilustrar sus respuestas fue infrecuente. Los datos sugieren que las representaciones de los docentes apuntan hacia una imagen de los procedimientos científicos como acciones mecánicas, independientes del contexto. Se discute que las representaciones de los docentes inevitablemente interactúan con las innovaciones curriculares y que una caracterización de las mismas puede sugerir algunas implicaciones para la formación de profesores.

Palabras clave: innovación curricular, procedimientos científicos, indagación científica, percepciones docentes, investigación cualitativa

REPRESENTATIONS OF SCIENTIFIC PROCESS SKILLS IN THE DISCOURSE OF SECONDARY SCIENCE TEACHERS

Abstract: This study explored the representations of 16 primary teachers about scientific process skills. A hypothetical pedagogical scenario was designed to include descriptions of actions and teachers were asked to argue if they would consider them as example of scientific process skills in a science lesson. Their responses were incorporated and explored in detail through individual semi-structured interviews. The qualitative analysis of responses revealed a tendency to consider the provided descriptions as examples of the use of some scientific skills. In order to argue whether a scientific skill was involved or not, teachers referred to the

* Profesora-investigadora. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-Unidad Monterrey. Vía del conocimiento 201. Parque de Investigación e Innovación Tecnológica-PIIT. Autopista Nueva al Aeropuerto Km 9.5. Apodaca, Nuevo León. 66600 México. Correo electrónico: tguerra@cinvestav.mx

scientific or non-scientific domain and the investigative or non-investigative purpose. The use of disciplinary knowledge to illustrate their responses was infrequent. Data suggests that teachers' representations point towards an image of scientific skills as mechanical actions, independent of context. It is argued that teachers' representations inevitably interact with curriculum innovations and that a characterization of them as the one provided in this study can suggest some implications for teacher education.

Key-words: *curriculum innovation, scientific skills, scientific inquiry, teachers perceptions, qualitative research*

1. INTRODUCCIÓN

Los profesores inevitablemente comunican mensajes acerca del mundo de la ciencia en su salón de clase. Más aún, cuando de acuerdo con el currículum de ciencias, tales mensajes deben ser explícitos, las ideas de los profesores (por ejemplo, sobre cómo se construye y valida el conocimiento científico, cómo proceden quienes se dedican a la ciencia en sus indagaciones), se despliegan en su discurso y en sus acciones y pueden influir en qué tanto los estudiantes encuentran la ciencia interesante, estimulante y entendible (Zeidler & Lederman, 1989). Las ideas de los profesores tienen relevancia pedagógica porque ellos se tienen la importante tarea de introducir el mundo de la ciencia a las generaciones jóvenes como uno de los mayores logros intelectuales humanos.

Una concepción de las ciencias naturales, sus áreas de interés, sus procedimientos, prácticas y valores van también de la mano, con cualquier currículum formal o implementado (McComas y cols. 1998; Osborne y cols., 2003). En el contexto de la educación secundaria pública en México, la reforma curricular de 2006 introdujo en el “enfoque” de las asignaturas Ciencias I, II y III una intención de comunicar una imagen particular de las mismas. Los programas de estudio incorporaron la idea innovadora de que; además de abordar los contenidos curriculares (conocimientos, habilidades, actitudes) debía enseñarse *algo* acerca de las ciencias mismas: sus métodos, valores, y como los científicos comunican el resultado de su trabajo. Este tipo de innovación a nivel curricular hace relevante el estudio de las representaciones de los profesores acerca del mundo de las ciencias y de la investigación científica en particular. Aún hace falta comprender mejor cómo los profesores de ciencias perciben y se aproximan al mundo de las ciencias y cómo adaptan y despliegan esas ideas en contextos pedagógicos.

Si bien los estudios enfocados a las representaciones docentes sobre distintos aspectos de las ciencias, se han abordado con diferentes estrategias metodológicas (para una revisión de estudios en esta área consultar Lederman, 1992; Lederman y cols., 1998; Schwartz & Lederman, 2002), los acercamientos cualitativos han sido aún escasos tanto como la identificación de aspectos que permitan informar el diseño de estrategias para apoyar a los profesores a desarrollar una comprensión amplia de las ciencias naturales como áreas de actividad intelectual humana y a estar preparados para reflejar esto en las aulas.

La mayoría de los estudios previos han carecido de un contexto pedagógico relevante o bien han adoptado criterios o normas pre-elaboradas para juzgar la validez de las

concepciones de los profesores relacionadas con el mundo de las ciencias. Algunos estudios han generado cuestionarios que intentan cuantificar lo que los profesores saben y verificar si coinciden o no con criterios normativos preestablecidos (Kimball, 1968; Chen, 2006; Buapharan, 2011). Este tipo de estudios tienden a proyectar una perspectiva de déficit al señalar que los profesores saben muy poco o nada en relación con lo que “deberían saber” y abogan por la incorporación de cursos de metodología y filosofía de la ciencia en la formación de profesores. Esta perspectiva no ha logrado dar cuenta de la relación de las ideas sobre la ciencia de los profesores con la práctica pedagógica y ha limitado la posibilidad de caracterizar la diversidad y complejidad de tales ideas. Otros estudios han asumido que lo que los profesores saben acerca de la ciencia es un tipo de conocimiento articulado, estable y generalizable (Irez, 2006; Liu & Lederman, 2007) al explorar las ideas de los profesores mediante preguntas abiertas y generales que demandan respuestas articuladas y descontextualizadas. Si bien este tipo de estudios han avanzado al describir que las concepciones de los profesores sobre la ciencia y los procedimientos científicos son eclécticas y multifacéticas; tampoco han logrado establecer su relevancia pedagógica en la práctica concreta del aula de ciencias. Más recientemente, en algunos trabajos se ha adoptado una perspectiva de cognición situada sobre las concepciones de los profesores en temas más específicos relacionados con los procedimientos científicos como la evidencia en situaciones de medición y experimentación (Taylor & Dana, 2003) o bien procesos de indagación científica y su aplicación en el aula de ciencias (Nott y Wellington, 1996; Windschitl, 2004). Este tipo de estudios han generado ricas descripciones sobre el entendimiento complejo que los profesores despliegan en el diseño de experimentos, la identificación de variables, procedimientos científicos como observación y análisis de datos. Han mostrado tanto fortalezas como debilidades de los profesores y señalado aspectos concretos en que los profesores pueden desarrollar conocimientos y habilidades pedagógicas.

En el estudio que nos ocupa ahora, se retomó la postura de Driver *et al.* (1996) cuando sostienen que tanto los profesores como los estudiantes suelen desarrollar un repertorio de representaciones mentales acerca de las ciencias a partir de su exposición a imágenes de la ciencia y los científicos en sus contextos culturales y de mensajes, tanto implícitos como explícitos, en la educación formal. La diversidad o la estrechez de este repertorio de ideas en el caso de los profesores puede constituir, respectivamente, un apoyo o una limitación cuando se trata de introducir a niños y jóvenes al mundo de las ciencias. Partiendo de que los saberes de los profesores son altamente situados, es decir no son independientes del contexto en que se usan (Brown; Collins & Duguid, 1989), este estudio exploró las representaciones o concepciones de profesores de secundaria acerca de “procedimientos científicos”, desde una perspectiva cualitativa y exploratoria. Las preguntas que orientaron la realización del estudio fueron las siguientes:

1. ¿Qué elementos o aspectos han sido introducidos en el currículum oficial para abordar qué son los “procedimientos científicos”?
2. El contexto de una situación pedagógica hipotética, ¿qué repertorio de representaciones acerca de los procedimientos científicos despliegan los docentes de secundaria?
3. ¿Cómo pueden caracterizarse cualitativamente tales representaciones?

2. METODOLOGÍA Y PARTICIPANTES

En primer lugar se realizó un análisis del documento curricular oficial, elaborado por la Secretaría de Educación Pública en México que contiene el enfoque de enseñanza y los programas de estudio de Ciencias para educación secundaria (SEP, 2006). Esto permitió identificar varios textos breves y elementos que expresan intenciones pedagógicas relacionadas con los “procedimientos científicos”.

En una segunda fase, se realizó un estudio que combinó tanto cuestionarios de lápiz y papel como entrevistas en el que participaron 16 docentes en servicio de escuelas secundarias públicas ubicadas en la zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, al norte del país. Los profesores impartían Ciencias I, correspondiente al primer año del ciclo de educación secundaria, que en México consta de 3 años posteriores a seis años de educación primaria. Por lo tanto, estos profesores atendían estudiantes de entre 12-13 años de edad. En cuanto a su formación inicial, nueve profesores eran egresados de escuelas formadoras de profesores y habían estudiado una licenciatura en educación secundaria con especialidad en Biología. Seis profesores eran egresados de carreras científicas universitarias como Biología, Odontología y Químico-Farmaco-Biología. Ningún profesor había recibido cursos especializados relacionados con la indagación científica y la enseñanza de procedimientos científicos como parte de su formación inicial o en servicio. La experiencia docente de los profesores era de entre 4 y 18 años. Todos los participantes estaban familiarizados con el documento curricular oficial (SEP, 2006), los contenidos de la asignatura Ciencias I y el enfoque pedagógico que incluye planteamientos relacionados con los procedimientos científicos.

La muestra de participantes se conformó de manera aleatoria a partir de una lista de escuela proporcionada por las autoridades educativas locales y mediante una invitación personal a los profesores para participar de manera voluntaria.

A fin de ofrecer un contexto común y relevante a todos los participantes, se empleó un cuestionario especialmente diseñado para este estudio, que incluyó un “escenario pedagógico”, la descripción de una situación hipotética, que sirvió de marco de referencia a las respuestas de los participantes. El escenario planteaba ocho acciones distintas y le solicitaba al docente señalar cuales seleccionaría como ejemplos para incluirlos en una clase sobre procedimientos científicos y sus razones para hacerlo (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Escenario pedagógico presentado por escrito a los docentes.

<p>Preparando una lección...</p> <p>Imagine que está preparando una lección para un grupo de primer grado en la que quiere ejemplificar a sus alumnos algunos procedimientos científicos. Usted encuentra las siguientes descripciones en un material didáctico:</p> <p>I. Una persona está observando cuidadosamente diferentes insectos y arácnidos con una lupa.</p> <p>II. Una persona está dando tabletas contra el dolor a un grupo de personas que padecen dolores de espalda y tabletas de azúcar a un grupo similar para ver cual reporta mayores mejoras.</p> <p>III. Una persona está agregando rebanadas de papa a una sopa salada para ver si es cierto que la papa absorbe la sal.</p> <p>IV. Una persona está comparando el tamaño de las semillas de café de la cosecha de este año y del año pasado.</p> <p>V. Una persona está viendo un programa de televisión acerca de los volcanes más grandes del mundo y</p>
--

su actividad.

VI. Una persona está sugiriendo que una planta se volvió amarilla porque la falta de luz solar impidió la elaboración de clorofila.

VII. Una persona está haciendo una prueba para ver si el helado se derrite más rápido en un recipiente metálico o en uno de plástico.

VIII. Una persona está argumentando, con base a su experiencia, que las úlceras son causadas por un microorganismo y no por el estrés.

Reflexione acerca de las siguientes preguntas:

En su opinión, ¿cuáles de las descripciones implican el uso de un procedimiento científico? ¿Por qué?

¿Cuáles de las descripciones presentaría usted a sus alumnos para ejemplificar el uso de procedimientos científicos? ¿Por qué?

Los antecedentes de esta aproximación metodológica pueden ser encontrados en estudios que evalúan el pensamiento de estudiantes (Driver *et al.*, 1996) y de docentes (Nott & Wellington, 1996; Taylor & Dana, 2003; Windschitl, 2004) sobre distintos aspectos del mundo de las ciencias. La descripción del escenario pedagógico, algunas preguntas iniciales escritas y una agenda de entrevista semi-estructurada fueron elaboradas y refinadas en un proceso que incluyó tanto pruebas con docentes como una revisión externa por parte de investigadores no involucrados directamente en el estudio.

Durante la fase de recolección de datos se distinguieron tres momentos: la presentación por escrito del escenario pedagógico, la aplicación inmediata del cuestionario asociado y la realización posterior de una entrevista individual semi-estructurada para explorar en detalle las ideas de cada docente incorporando y extendiendo sus respuestas iniciales escritas.

Las entrevistas fueron audio-grabadas, transcritas para su análisis posterior. En una primera etapa, los datos se enfocaron con una aproximación ideográfica para derivar categorías de análisis a partir del contenido mismo del discurso de los docentes. Tal aproximación se consideró coherente con la perspectiva de cognición situada. También se prestó atención a las relaciones entre las representaciones de los docentes sobre los procedimientos científicos y las intenciones del currículo oficial que se determinaron en el análisis documental previo.

El análisis cualitativo de las transcripciones de las entrevistas consistió en obtener una serie inicial de categorías derivadas de las mismas respuestas de los docentes. Esto se realizó mediante la comparación sistemática de las respuestas de distintos docentes para identificar diferencias y similitudes de contenido. Las unidades de análisis fueron oraciones o grupos de oraciones que fueron codificados y recodificados varias veces con ayuda de NVivo 7.0, un software diseñado para administrar y apoyar el proceso de análisis cualitativo.

Las categorías iniciales fueron formuladas por una codificadora en un proceso reiterativo basado en un análisis línea por línea. Un segundo codificador fue involucrado en un proceso de "codificación ciega" (blind coding) para establecer la validez y comunicabilidad del esquema de codificación. El segundo codificador tuvo acceso a las descripciones de los códigos de análisis y a tres entrevistas transcritas pero no sabía que códigos había aplicado en cada caso la primera codificadora. Se obtuvo un índice de consistencia entre codificadores de 0.79 al dividir el número de acuerdos entre el número de acuerdos y desacuerdos de codificación como lo sugieren Miles & Huberman (1994, p. 64). Este indicador señaló que ambos codificadores trabajando independientemente aplicaron a *grosso modo* las mismas

categorías a los mismos segmentos de las transcripciones y atribuyeron significados similares a las respuestas de los profesores. Posteriormente, los desacuerdos de codificación entre los codificadores se aprovecharon para mejorar las definiciones ambiguas de algunas categorías de análisis, algunas se finaron y otras dieron origen a nuevas categorías. Este proceso permitió que el esquema de codificación final tuviera mayor consistencia interna. El análisis descriptivo permitió la identificación de algunas regularidades y patrones de respuesta.

3. RESULTADOS

El análisis de contenido de material curricular incluyó el programa oficial de Ciencias de Educación Secundaria (SEP, 2006), particularmente sus secciones “Introducción”, “Fundamentos”, “Propósitos” y “Enfoque pedagógico para la formación científica”. Se identificaron un total de 11 textos breves que sugieren que los docentes deben apoyar a sus alumnos a reconocer un rango de procedimientos o habilidades científicas (ver Cuadro 2). Aunque en el documento curricular los términos procedimiento y habilidad se emplean como sinónimos, predomina el término procedimiento. De los textos identificados, es importante subrayar el énfasis en la práctica de los procedimientos científicos en la ciencia escolar como parte de la formación científica de los estudiantes y también como un reflejo de la naturaleza de la práctica científica profesional. Aunque la presencia de estos textos en el currículum oficial merece una discusión más extensa, aquí me limito a señalarlos como evidencia clara de la inclusión explícita de aspectos de la naturaleza de la ciencia. En particular sobresale la presencia de aspectos metodológicos que intentan reflejar lo que las comunidades científicas hacen para crear, validar, sistematizar, comunicar y consensuar nuevo conocimientos; y se asume que una versión de tales procesos inculcados en los estudiantes, contribuye a su formación.

Cuadro 2. Ejemplos de textos con finalidad educativa relacionados con procedimientos científicos en el currículum de Ciencias vigente en México.

<p>Enumeración de procedimientos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Búsqueda, selección, interpretación y análisis de información (observación, comparación, medición). - Investigación (predicción, hipótesis, relación de variables, diseño experimental, clasificación, seriación, uso de modelos, elaboración de conclusiones). - Construcción y manejo de materiales (manipulación de instrumentos de observación y medida). - Comunicación oral y escrita (SEP, 2006, p. 10).
<p>Los estudiantes y los procedimientos científicos</p> <p>“... los alumnos tendrán que dar respuestas, por si mismos, a las preguntas que ellos se plantean, y utilizar procedimientos científicos cada vez más rigurosos y reflexionar acerca de las actitudes propias de la ciencia, así como desarrollar actitudes personales como parte de su formación científica básica.” (SEP, 2006, p. 13)</p>
<p>Proyectos y “método científico”</p> <p>“En estos proyectos (científicos) los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollar actividades relacionadas con el trabajo científico formal al describir, explicar y predecir mediante investigaciones acerca de fenómenos y procesos naturales que ocurren en su entorno./ En la realización de este tipo de proyectos se debe evitar la promoción de visiones empiristas , inductivistas y simplificadas de la investigación , como son las que se reducen a seguir un “método científico” único e inflexible que inicia</p>

invariablemente con la observación” (SEP, 2006, p. 13).
<p>Conocimiento científico y procedimientos</p> <p>“...la ciencia se dedica principalmente, a construir explicaciones plausibles acerca de los fenómenos naturales, predecir sus comportamientos y efectos, y a construir teorías que dan sentido y significado a las observaciones y a los descubrimientos./ Este ámbito hace referencia a las habilidades y actitudes para la obtención de información, el uso de todos los sentidos –de manera directa o indirecta-, el uso de instrumentos y el razonamiento, la formulación de explicaciones e hipótesis personales la creatividad, la identificación de relaciones y patrones, y la obtención, evaluación y comunicación de conclusiones.”. (SEP, 2006, p. 16).</p>
<p>Enseñanza de procedimientos</p> <p>“La enseñanza de procedimientos debe partir de tres perspectivas esenciales: que los alumnos los conozcan, los apliquen en el contexto apropiado y con ellos obtengan más conocimientos. El aprendizaje de habilidades y procedimientos sigue las pautas del aprendizaje significativo de conceptos, por lo que en su adquisición, reorganización o ampliación deben considerarse los conocimientos previos de los estudiantes. Las principales habilidades y procedimientos que se pretende fortalecer en esta asignatura se relacionan principalmente con el desarrollo de actividades prácticas, la experimentación y la investigación.” (SEP, 2006, p. 24)</p>

En cuanto al análisis cualitativo de las transcripciones de entrevistas se identificó un total de 21 categorías distintas (ver Tabla 1). Las categorías identificadas sugieren que para seleccionar las acciones que, desde su punto de vista involucraban un procedimiento científico, los docentes aplicaron consistentemente los criterios de dominio percibido (científico o no científico) y de propósito percibido (investigativo, no-investigativo).

Tabla 1. Una caracterización inicial de las representaciones docentes sobre los procedimientos científicos.

CATEGORIAS DE CODIFICACIÓN		Docentes cuyas respuestas fueron clasificadas en la categoría	Veces que se aplicó la categoría
Dominio percibido de la actividad y persona involucrada	Dominio científico (Si)		
	<ul style="list-style-type: none"> • Ciencia escolar • Ciencia profesional • Ciencia en contexto cotidiano • Ciencia en contexto impersonal 	7 4 3 3	10 7 8 3
	Dominio no científico (No, No sé)		
	<ul style="list-style-type: none"> • No se aplica conocimiento científico • No se aplica un procedimiento científico 	5 3	8 17
Propósito de la actividad	Propósito investigativo (Si)		
	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener información útil • Evaluar una idea • Saber algo nuevo 	6 5 2	6 13 2
	Propósito no investigativo (No/No sé)		
	<ul style="list-style-type: none"> • El resultado ya se sabe • Cuestión de opinión o experiencia individual • No tiene un propósito claro 	2 5 3	2 15 6

Aspectos procedimentales	Procedimiento científico involucrado		
	• Observar en detalle	8	10
	• Comparar algo en distintas condiciones	4	4
	• Identificar un mecanismo o proceso	4	5
	• Poner a prueba una idea	5	8
	• Aplicar conocimiento	2	4
	Rasgos de la actividad científica		
	• Método científico estándar	8	8
	• Diversidad de procedimientos	2	2
	• Proceso integral	2	7
• Pasos independientes	7	8	

Es decir, cuando las respuestas y sus justificaciones aludían a un dominio científico, los docentes hicieron referencia al uso de procedimientos científicos tanto en contextos profesionales, cotidianos o impersonales pero predominantemente en el salón de clases, como se ilustra a continuación:

[Si se trata de un procedimiento científica porque...] si yo traigo aquí una plantita amarilla, les dijo miren esta planta se volvió amarilla, ¿porque creen ustedes? Entonces como ellos no tiene idea de porque se hizo amarilla [...] Puede ser que a la mejor uno diga porque no tenía bastante tierra, otro porque se le puso bastante agua a la mejor, o le faltó agua o le faltó tierra... [Q3a-12B-24]

Cuando juzgaron que no estaba en juego un procedimiento científico, las respuestas de los docentes sugirieron que no se trataba de nada científico ya que no se aplicaba conocimientos o habilidades de este tipo. El siguiente es un ejemplo de esta categoría de respuesta:

[No implica necesariamente un procedimiento científico por que] si dice nada más observo [insectos y arácnidos], ¿cuál es el procedimiento? Nada más observar y hasta ahí te quedas. O sea, ¿dónde queda la información?, ¿dónde queda el conocimiento?, ¿para qué te sirve observar?, ¿o para qué las ves?, ¿o quién te dijo que las vieras? Si es que lo tienes que hacer por un trabajo escolar... Mínimo debes de saber algo, o lo estás haciendo ya sobre alguna intencionalidad [...] [Q2a-1B-3]

Sin embargo, fue evidente la tendencia de los profesores a considerar todas las descripciones como la aplicación de algún procedimiento científico. Cuando los docentes repararon en el propósito de la actividad para argumentar si se trataba o no de la aplicación de un procedimiento científico, hicieron una distinción clara entre propósitos investigativos y no investigativos. A nivel colectivo, tendieron a enfatizar el obtener información útil y práctica como un propósito investigativo, y en menor medida mencionaron el evaluar la validez de ideas o llegar a saber algo novedoso.

Si bien las repuestas de los docentes sugirieron que en las descripciones provistas percibían al menos cinco distintos procedimientos (observar en detalle, comparar algo en distintas condiciones, identificar un mecanismo o proceso, poner a prueba una idea y aplicar conocimiento), fue la “observación” el procedimiento más mencionado. De manera similar, la mitad de los participantes se refirieron al método científico como una forma de aplicación de los procedimientos científicos, que todo mundo debe seguir, incluidos los científicos.

Deben utilizar los pasos del método, porque sin estos pasos no podrían llegar a lo que persiguen, para eso son pasos, uno tiene que seguirlos. [Q6-3B-38]

El uso de conocimientos disciplinarios para ilustrar sus respuestas y las justificaciones de las mismas fue infrecuente y limitado en rango. Esto revela, como una situación común al grupo de entrevistados, la falta de un repertorio básico de ejemplos, temas y contextos asociados a los procedimientos científicos que probablemente resultaría de gran apoyo para abordarlas explícitamente en el salón de clases. En este sentido, el uso de episodios históricos podría aportar ejemplos de procedimientos científicos que aporten apoyo a los profesores. Tales episodios históricos podrían incorporarse en las estrategias de formación docente y en materiales educativos.

Las referencias a los “pasos” del “método científico” fueron muy comunes en las transcripciones de las entrevistas. Los docentes frecuentemente tuvieron dificultades para enlistar los “pasos” del método que decían haber aprendido en la escuela o bien durante su formación inicial como profesores. Sin embargo mencionaron distintas acciones prototípicas involucradas en el trabajo científico (observar, comparar, hacer experimentos, etc.). Algunas descripciones incluidas en el escenario pedagógico fueron percibidas como si representaran una o dos de tales acciones y en consecuencia fueron consideradas como ejemplos de procedimientos científicos.

Haciendo una conexión entre las representaciones de los docentes sobre los procedimientos científicos y los aspectos pedagógicos asociados a su tratamiento en el aula, tales procedimientos fueron concebidos por los docentes participantes como acciones motoras más que como actividad intelectual, como acciones asistemáticas y desagregadas, que no necesariamente se orientan por aspectos teóricos, marcos de referencia o propósitos específicos. Esta representación compartida contrasta con la perspectiva adoptada en los programas de estudio oficiales relacionados con la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria pública. Tal documento abogan por presentar la actividad científica como una labor que involucra la práctica de distintas habilidades intelectuales y procedimentales complementarias e interrelacionadas con fines particulares; e insiste en contrarrestar la idea de “un” método científico rígido, secuencial o estándar. La expectativa de comunicar tales mensajes en las clases de Ciencias en educación secundaria resulta, por decir lo menos, idealista dado el tipo de representaciones que comparten los docentes sobre los procedimientos científicos y las pocas oportunidades que tienen para desarrollarlas ellos mismos durante sus experiencias de formación y actualización. Teniendo en cuenta las representaciones caracterizadas en este estudio, es tentador especular que los docentes tenderían a abordar los procedimientos científicos como una serie de acciones mecánicas independientes del contexto o tema a investigar. Un aspecto sobresaliente fue también la falta de reconocimiento acerca de la presencia del tema “procedimientos científicos” en el enfoque pedagógico de Ciencias como asignatura. El repertorio de representaciones acerca de los procedimientos científicos que han desarrollado los docentes de secundaria participantes en este estudio tiende a reflejar algunas sobre-simplificaciones que probablemente dificulten una socialización y práctica genuina de procedimientos científicos en el contexto escolar.

En resumen, puede decirse que en un plano colectivo, las respuestas de los docentes fueron multifacéticas y aunque fueron prominentes las respuestas que aludían al “método

científico” como una imagen estereotípica; se presentó también un rango de respuestas que varió en elaboración (extensión, vocabulario y argumentación) y contextualización (inclusión de ejemplos y referencias a personas y espacios concretos).

4. CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES

Este estudio estuvo enfocado solamente en las representaciones docentes de los procedimientos científicos. Se trata de un intento por abordar este tema desde una perspectiva cualitativa interesada en lo que los docentes dicen y como lo dicen, es decir en su discurso como un medio para acceder a los contenidos y las formas de su pensamiento. Es también un intento de complementar la información que han aportado otros estudios que exploran concepciones docentes asociadas a la naturaleza de las ciencias y que han usado escalas y cuestionarios con preguntas con formato de respuesta restringido (Kimball, 1968; Buapharan, 2011) que nos indican qué contestan los profesores pero no porqué lo hacen de una forma específica, ni dan pista alguna sobre la relevancia pedagógica de sus ideas. Parece más productiva la perspectiva de reconocer la naturaleza situada de las representaciones de los profesores sobre los procedimientos científicos que proponen autores como Taylor & Dana (2003) y Windschitl (2004). Este estudio por tanto adoptó una perspectiva situada y solo puede proveer una caracterización inicial de las representaciones docentes sobre los procedimientos científicos, a partir de la cual es posible adelantar algunas hipótesis sobre el razonamiento y la práctica pedagógica. La caracterización obtenida podrá informar estudios posteriores e indica que ciertas representaciones compartidas entre los docentes tienen el potencial de interferir con las expectativas del currículum oficial y su discurso retórico pedagógico; o al menos convertirse en elementos para su reinterpretación.

El análisis del documento curricular oficial confirma la presencia de mensajes relacionados con la promoción de procedimientos científicos y de su tratamiento como un tema a abordar de manera explícita. Su presencia implica que los docentes ya encuentran el tema de procedimientos científicos en su práctica diaria y que tienen varias posibilidades: abordarlo, re-interpretarlo o evitarlo. Si estudios posteriores demuestran que las representaciones sobre procedimientos científicos prevalecen a una escala mayor, una implicación posible sería que los programas de formación de docentes de secundaria se beneficiaría al propiciar el reconocimiento de la diversidad de los procedimientos científicos y de las estrategias usadas tanto en los ámbitos profesionales de las ciencias experimentales y de una actividad científica escolar, así como el reconocimiento de propósitos específicos, marcos de referencia y estrategias metodológicas como rasgos distintivos de la práctica científica. La incorporación sistemática de episodios históricos de la ciencia podría apoyar fuertemente la formación de profesores en este sentido.

El currículo oficial solo establece recomendaciones amplias para la enseñanza. En la práctica, el currículo real depende en gran medida, aunque no totalmente, de los conocimientos y habilidades pedagógicas de los profesores. Ciertamente las actitudes y otros factores contextuales (e. g. materiales didácticos, procesos de evaluación, etc.) son también importantes aunque no fueron el foco de atención de este estudio. Sin embargo, aporta una descripción y un análisis inicial de la base de ideas acerca de los procedimientos científicos

que poseen los docentes basados en datos empíricos y provee algunas claves acerca de las ideas en que los profesores se apoyan para responder a innovaciones educativas relacionadas y de los mensajes que probablemente se comunican en el aula en relación con ellas.

Cualquier esfuerzo serio por introducir aspectos sobre la naturaleza de la ciencia en la escuela necesita un mínimo de reconocimiento de las diferencias metodológicas y conceptuales entre disciplinas científicas y la presentación más multifacética y menos totalitaria de la naturaleza de la ciencia como una labor cognitiva y humana (Jenkins, 1996). Por tal razón es importante reconocer la existencia de repertorios de ideas restringidos acerca de los científicos y su trabajo y la necesidad de clarificar y hacer más explícitas las intenciones del currículum oficial en este tema. Un objetivo realista en esta área debería considerar la excesiva carga curricular y la falta de una formación científica robusta de la mayoría de los profesores. Cierta claridad se requiere en la expresión de intenciones y una mejor definición de los objetivos de aprendizaje. La aparición de una preocupación por comunicar ideas acerca del mundo de la ciencia a través de la ciencia escolar implica que los profesores están lidiando ya con estos temas. La forma en que los profesores responden a las expectativas del currículo oficial de educación secundaria en relación con estos asuntos aún no está lo suficientemente estudiado tanto en México como en otros países. Aún hay espacio para reflexionar y explorar a fondo cómo enseñar y aprender acerca de la naturaleza de la ciencia puede tener lugar en la escuela secundaria, su justificación, posibles resultados y retos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, John; COLLINS, Allan; DUGUID Paul. Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher* **18** (1): 32-42, 1989.
- BUAPHARAN, K. Pre-service physics teachers' conceptions of the nature of science. *US-China Education Review* **8** (2): 137-148, 2011.
- CHEN, Sufen. Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education* **90** (5): 803-819, 2006.
- DRIVER, Rosalind; LEACH, John; MILLAR, Robin; SCOTT, Phillip. *Young people images of science*. Buckingham: Open University Press, 1996.
- IREZ, Serhat. Are we prepared?: an assessment of preservice science teacher educators' beliefs about the nature of science. *Science Education* **90** (6): 1113-1143, 2006.
- JENKINS, Edgar. The 'nature of science' as a curriculum component. *Journal of Curriculum Studies* **28** (2): 137-150, 1996.
- KIMBALL, M. E. Understanding the nature of science: a comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching* **5** (2): 110-120, 1968.
- LEDERMAN, Norman. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching* **29** (4): 331-359, 1992.
- LEDERMAN, Norman; WADE, Phillip; BELL, Randy. Assessing the nature of science: what is the nature of our assessments? *Science and Education* **7**: 595-615, 1998.

- LIU, Shiang-Yao; LEDERMAN, Norman. Exploring prospective teachers' worldviews and conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education* **29** (10): 1281-1307, 2007.
- MCCOMAS, William; CLOUGH, Michael; ALMAZROA, Hiya. The role and character of the nature of science in science education. Pp. 3-39, in: W. McCommas (ed.). *The Nature of Science Education: Rationales and strategies*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- MILES, Matthew; HUBERMAN, A. Michael. *Qualitative data analysis: an expanded sourcebook*. Thousand Oaks: Sage, 1994.
- NOTT, Mick; WELLINGTON, Jerry. Probing teachers' views of the nature of science: how should we do it and where should we be looking? Pp. 283-293, in: G. Welford; J. Osborne; P. Scott. *Research in Science Education in Europe: current issues and themes*. London: Falmer Press, 1996.
- OSBORNE Jonathan; COLLINS, Sue; RATCLIFFE, Mary; MILLAR, Robin; DUSCHL, Richard. What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* **40** (7): 692-720, 2003.
- SCHWARTZ, Reneé; LEDERMAN, Norman. "It's the nature of the beast": The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **39** (3): 205-236, 2002.
- SEP. *Educación Básica. Secundaria. Ciencias. Programas de Estudio 2006*. México: Secretaría de Educación Pública, 2006.
- TAYLOR, Joseph; DANA, Thomas. Secondary school physics teachers' conceptions of scientific evidence: an exploratory study. *Journal of Research in Science Teaching* **40** (8): 721-736, 2003.
- WINDSCHITL, Mark. Folk theories of "inquiry": How pre-service teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching* **41** (5): 481-512, 2004.
- ZEIDLER, Dana; LEDERMAN, Norman. The effect of teachers' language on students' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **26** (9): 771-783, 1989.

NATURALEZA DE LA CIENCIA: ACUERDOS TEÓRICOS EN LA COMUNIDAD IBEROAMERICANA DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Rafael Yecid Amador Rodríguez¹
Agustín Adúriz Bravo²

Resumen: *En este documento presentamos los resultados parciales de un estudio en el que se pretendió establecer cuáles son los acuerdos y desacuerdos en torno al concepto de naturaleza de la ciencia (en inglés, NOS, ‘nature of science’: McComas, 1998), que se expresan en algunos artículos de revistas especializadas en didáctica de las ciencias, publicados entre 2000 y 2009 en el ámbito iberoamericano. Tales resultados muestran que hoy en día la NOS es un campo de estudio y análisis consolidado no exento de discusiones y controversias.*

Palabras clave: *Naturaleza de la ciencia, epistemología e historia de la ciencia.*

NATURE OF SCIENCE: THEORETICAL AGREEMENTS IN LATIN AMERICAN COMMUNITY OF SCIENCE EDUCATION

Abstract: *In this paper we present the results of a study which pretended to establish what are the agreements and disagreements around the concept of nature of science (McComas, 1998), expressed in some journal articles on science education published between 2000 and 2009 in the Latin American context. These results show that nowadays “NOS” is a field of study consolidated, nevertheless presents discussions and controversies.*

Keywords: *Nature of science, epistemology and history of science*

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo partimos de la tesis de que, para diseñar una genuina educación científica de

¹ Rafael Yecid Amador Rodríguez, Doctorante en Ciencias Mención en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina; GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales. E-mail (primer autor): rafaelyecid@gmail.com

² Agustín Adúriz-Bravo, GEHyD-Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales, CeFIEC Instituto de Investigaciones Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CeFIEC, 2º Piso, Pabellón 2, Ciudad Universitaria, Avenida Intendente Güiraldes 2160, (C1428EGA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

calidad para todos y todas, es pertinente introducir en la enseñanza de las ciencias algunos contenidos epistemológicos, históricos de la ciencia y sociológicos de la ciencia de los que hoy en día se nutren los investigadores e investigadoras del campo de la didáctica de las ciencias, aspectos estos que al parecer son parte de lo que han denominado los especialistas 'naturaleza de la ciencia' (McComas, 1998; Acevedo et al., 2005; Flick & Lederman, 2006); Adúriz-Bravo, 2005a).

Los/as especialistas han propuesto y sustentado que dentro de la didáctica de las ciencias existe la línea de investigación HPS (siglas en inglés de historia y filosofía de la ciencia) y en la que la naturaleza de la ciencia se constituye como campo de investigación (Adúriz-Bravo; Izquierdo & Estany, 2002; McComas, 1998). La naturaleza de la ciencia se comprende como una meta-disciplina que tiene sus orígenes desde las reflexiones de los epistemólogos, historiadores de la ciencia y sociólogos de la ciencia, siendo la NOS un campo complejo, dinámico y multifacético (Abd-El-Kalick, 2005).

Acudimos a lo que plantea McComas (1998) en cuanto comprende que la NOS es un campo de conocimiento que mezcla aspectos de otras ciencias, propone que las principales serían la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia. Entendemos la NOS como un área que emerge a partir de las necesidades que se establecen en los niveles educativos con el objeto de generar una alfabetización científica para todos y todas, en el que se combinan dos aspectos importantes – saber ciencias con saber sobre ciencias.

2. METODOLOGÍA

A continuación se describe el proceso metodológico que se formuló y desarrolló para el estudio y se presentan algunos resultados, como se muestra en la figura 1.

Secuencia metodológica

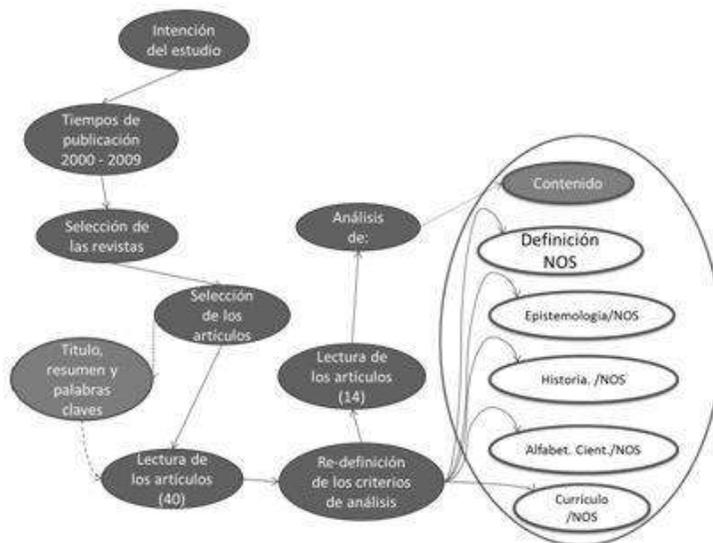


Fig. 1: Elementos pragmáticos de nuestro estudio

El objetivo del estudio fue la de determinar las representaciones de los/as investigadores en didáctica de las ciencias con respecto al concepto de NOS, para tal fin se decidió tomar como variable de tiempo la producción realizada entre 2000 y 2009. Para la selección de las revistas especializadas se tuvo en cuenta la preferencia de los/las autores por publicar en alguna de las revistas Latinoamericanas. Hecho lo anterior, se procedió a elegir aquellos artículos que en el título, resumen y palabras claves enunciaran los conceptos de naturaleza de la ciencia, epistemología, filosofía de la ciencia e historia de la ciencia. Para este primer estudio, se obtuvieron cuarenta (40) artículos que cumplieran con lo requerido (primera fase). Al realizar la lectura de los cuarenta documentos, se redefinieron los criterios de análisis, es decir, no era suficiente con que nombraran los conceptos de naturaleza de la ciencia, epistemología, filosofía de la ciencia e historia de la ciencia, sino que la lectura permitió crear los siguientes criterios: definición del concepto NOS; y las relaciones: a) epistemología y NOS, b) epistemología, historia, sociología de la ciencia y NOS, c) alfabetización científica y NOS, y d) currículo y NOS. Con estos criterios se realizó una segunda selección de los artículos, quedando catorce (14) y a los cuales se les realizó un estudio riguroso del contenido, teniendo en cuenta los anteriores criterios. También se realizó un análisis del título, del resumen y de las palabras claves (segunda fase).

3. REPRESENTACIONES DE NATURALEZA DE LA CIENCIA

A continuación se presentan las definiciones encontradas y que las mismas plasmarían las representaciones conceptuales de los/las investigadores en didáctica de las ciencias en Latinoamérica. Acevedo y colegas (2007a) afirman que en la comunidad de didactas el concepto de NOS es dialéctico y complejo, lo que lo haría difícil definirlo con precisión y consenso. Una propuesta teórica que viene sosteniendo este grupo de investigación es asumir la NOS como un meta-conocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia (Acevedo et al., 2005, 2007b; Acevedo Díaz, 2008).

Una definición con mayor poder teórico es la que plantean Guisasaola & Morentin (2007), la NOS comprende aspectos de diferentes áreas de conocimiento como la Historia, la Sociología y la Filosofía de la ciencia con el propósito de explorar qué es la ciencia, cómo trabajan los y las científicas como grupo social y cómo la propia sociedad se enfrenta y reacciona a los problemas derivados de la ciencia. Estas son las dos afirmaciones, definiciones, concepciones, etc., de los especialistas en didáctica de las ciencias acerca de la naturaleza de las ciencias con mayor acogida por la comunidad, al parecer.

Uno de nosotros propone a la NOS como un conjunto de contenidos metacientíficos con valor para la educación científica (Adúriz-Bravo, 2005). El concepto que es conveniente por varias razones: Primero, sitúa la naturaleza de la ciencia en el ámbito de acción de las metaciencias, que son disciplinas de carácter netamente científico, y por tanto la hace muy compatible con las propias ciencias naturales y enseñables dentro de su espacio curricular. En segundo lugar, porque no separa estrictamente las diversas procedencias de las ideas a enseñar; estas provienen de la filosofía de la ciencia, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia principalmente, disciplinas entre las cuales una demarcación estricta es objeto de discusión incluso entre sus propios especialistas. En tercer lugar, al hablar de la voluntad profundamente educativa de la naturaleza de la ciencia, se remite a genuinas transposiciones didácticas.

Cuadro 1. Tópicos que se deberían abordar en la enseñanza de las ciencias cuando se inserta la NOS en un trabajo de aula, según los expertos

Aspectos	AFIRMACIONES
Metodológico	Métodos que validan el conocimiento científico (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008).
Axiológico	Valores involucrados en las actividades de los hombres y mujeres de ciencias (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008).
De Interacción	Relaciones con la tecnología (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008). Relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y los aportes que se generan en la cultura y al progreso de la sociedad (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008).
Teórico	Naturaleza y características de la comunidad científica (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008) ¿Qué es la ciencia?, (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008). Funcionamiento interno y externo de la ciencia (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008). ¿Cómo se construye y se desarrolla el conocimiento?, (Acevedo <i>et al.</i> , 2007b; Acevedo, 2008). La NOS incluye cuestiones filosóficas de la ciencia, sociológicas y psicológicas (Acevedo, 2008). La NOS es principalmente una reflexión de tipo filosófico de la ciencia, ambientada en la historia de la ciencia y advertida por la sociología de la ciencia contra el dogmatismo y el triunfalismo del relato positivista tradicional (Adúriz-Bravo, 2005). Construir una imagen de ciencia realista y racionalista moderada, de modo de destacar los notables logros intelectuales y materiales de las ciencias naturales sin rehuir la discusión de sus limitaciones y de sus aspectos éticos o “humanos” (Adúriz-Bravo, 2005). Sintonizar con los contenidos disciplinares, pedagógicos y didácticos (Adúriz-Bravo, 2005).
Didáctico	¿Cuál es la NOS que se quiere enseñar?, ¿Qué NOS debemos enseñar?, ¿para qué queremos enseñar NOS? (Acevedo <i>et al.</i> , 2005; 2007a; Praia <i>et al.</i> , 2007).

Del cuadro 1, se puede deducir dos (2) tendencias en lo referente a la inclusión de la NOS en la enseñanza de las ciencias, la primera aboga por una reflexión en torno a los métodos que permiten validar el conocimiento científico; valores involucrados en el desarrollo del conocimiento; características que presentan la comunidad científica para el desarrollo del conocimiento y relación con la tecnología, la sociedad y la cultura. La segunda, propone que los/las didactas de las ciencias, generen una solución a los siguientes cuestionamientos y que han de surgir de la reflexión-formulación-implementación de una estrategia didáctica: ¿Qué tipo de ciencia se trabaja cuando implementamos la NOS?, ¿Qué NOS enseñar?, ¿Para qué enseñar NOS? y ¿Cuáles son los consensos sobre NOS que hoy día ha validado la comunidad? Lo anterior nos lleva a pensar que en la actualidad no habría un consenso dentro de los/las especialistas en didáctica en lo referente a este campo.

Un aspecto de interés que surge a partir de lo encontrado en la lectura de los documentos es que la comunidad en didáctica propone como metaciencias que compongan a la NOS sería: la epistemología, la historia de la ciencia y la sociología de la ciencia, esto parece ser un consenso, pero algunos autores generan un cambio de la historia por el de la psicología sin ningún tipo de argumentación conceptual y metodológico en los textos que escriben y publican, lo que nos parece un problema, porque tal consenso no es generalizado en la comunidad.

3.1 Aserciones que exigen un análisis detallado

Acevedo et al. (2007a) aseguran que los/ las investigadoras en didáctica de las ciencias analizan y discuten a menudo sus representaciones de la NOS que son tan dinámicas y complejas como el propio conocimiento científico, lo que origina una gama de concepciones acerca de la NOS, versiones distintas conceptual y metodológicamente, lo que origina la existencia de múltiples representaciones de la NOS al interior de la comunidad y, en términos de Kuhn, en competencia.

Por ejemplo Acevedo et al. (2005), consideran que la inclusión de la NOS en la enseñanza de las ciencias es un objetivo poco razonable pues, por su complejidad, la comprensión de la NOS podría quedar fuera del alcance de la mayoría del estudiantado, en particular en los primeros niveles educativos, pero si se inserta en estos niveles educativos, el objetivo no ha de ser centrarse tanto en la filosofía (entendemos que se los autores se refieren a la metaciencia denominada epistemología) o la sociología de la ciencia, como si se tratase de formar a los estudiantes para llegar a ser especialistas en estos campos del conocimiento, sino más bien ayudarles a comprender mejor cómo funcionan la ciencia y la tecnología contemporáneas. Compartimos lo anterior, lo que no nos queda claro es la posición filosófica, histórica, psicológica y sociológica de la ciencia de los autores, lo cual quedaría difuso poder generar una propuesta didáctica para la enseñanza de la ciencia desde los planteamientos formulados por este grupo de investigación.

Nuestra posición al respecto es que la naturaleza de la ciencia tiene unas finalidades en la didáctica de las ciencias Adúriz-Bravo (2005):

1. Finalidad intrínseca. La naturaleza de la ciencia ha de ser una reflexión “racional y razonable” sobre las propias ciencias, que sirva para analizarlas críticamente desde un segundo nivel de discurso.

2. Finalidad cultural. Se puede trabajar la naturaleza de la ciencia desde distintas áreas curriculares (por ejemplo, las ciencias junto con epistemología, la historia, las ciencias sociales y la matemática), para destacar su valor histórico como creación intelectual humana, situando personajes e ideas en el contexto social amplio de cada época.

3. Finalidad instrumental. La naturaleza de la ciencia ha mostrado ser una herramienta valiosa para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos. Las metaciencias son fuente de advertencias y consejos para identificar y atacar los obstáculos didácticos más importantes que aparecen asociados a la enseñanza de los grandes modelos de la historia de la ciencia. Un sólido conocimiento metacientífico permitiría que los/las estudiantes vinculen mejor los contenidos y formas de pensar de las ciencias con el conocimiento del sentido común. Y por otra parte, la reflexión generada desde la epistemología específicamente desde una postura realista y racionalista moderada proveería de herramientas, materiales y enfoques muy útiles para nuestra tarea cotidiana de enseñar ciencias en el aula.

3.2 NOS y epistemología: Una iteración necesaria

Afirman los/as investigadores que las diversas reformas de la educación científica resaltan la importancia de desarrollar una imagen de la ciencia más válida desde el punto de vista epistemológico, que sea más coherente con las prácticas científicas actuales, (Fernández; Gil; Carrascosa; Cachapuz & Praia, 2002; Acevedo et al., 2007b), la pregunta que surge, es qué versión epistemológica asumir para esto. Acevedo-Díaz et al. (2007b) afirman que en la actualidad se pueden encontrar epistemologías de todos los tipos por ejemplo: realismo, neopositivismo, funcionalismo, relativismo y casi cualquier combinación posible de las anteriores, tales como racionalismo crítico, evolucionismo, realismo crítico, realismo constructivo, realismo transformativo, realismo perspectivo, realismo pragmático, empirismo constructivo, constructivismo sociológico, relativismo débil. Lo que nos preocupa y que no nos queda claro es cuál(es) de las anteriores posturas acudir para incluirla en la didáctica de las ciencias.

Una discusión que presenta Acevedo (2008) es si el significado de la NOS debe restringirse a la inclusión de la epistemología en la educación científica o los contenidos deben ampliarse con aspectos esenciales de la sociología interna y externa de la ciencia, tal y como propugna el movimiento CTS para la enseñanza de las ciencias. Al respecto Guisasola & Morentin (2007) consideran que la NOS se ocupa de los contenidos epistemológicos, estos se refieren a la forma en que la ciencia construye sus conocimientos, junto con los métodos, supuestos y creencias que la sustentan, esto implica que existe una amplia variedad de aspectos que integran la NOS, como se observa no hay una posición clara en lo referente a qué versión epistemológica acudir, según los expertos con el objeto de introducirla en la NOS.

3.3 NOS e Historia de la ciencia

Irene Arriasecq & Ileana María Greca (2002) afirman que la historia de la ciencia debe utilizarse en la enseñanza de las ciencias con varios propósitos, por ejemplo: comprender las dificultades, los obstáculos que se debieron superar y los contextos culturales, epistemológicos, tecnológicos, en los que se formuló la teoría o modelo científico, diferente al actual; que la ciencia es una actividad humana y está realizada por hombres y mujeres que aportan contribuciones parciales respondiendo preguntas que se plantean en cada época, o sea, que rara vez hay “un sólo descubridor”; que los científicos, en cada momento histórico, no pensaban en nuestros “términos actuales”, ya que utilizaban las herramientas lógicas, metodológicas, epistemológicas de su contexto.

3.4 NOS y alfabetización científica

Algunos especialistas en didáctica de las ciencias sostienen que, para conseguir una participación ciudadana, resulta necesaria la inclusión de la NOS en el currículo de ciencias. No es ésta la única razón posible para motivar la presencia curricular de la NOS, pero, según manifiestan los expertos, una mejor comprensión de la NOS permitirá tomar decisiones más razonadas sobre cuestiones públicas tecnocientíficas, lo que contribuirá probablemente a hacer más factible la participación de los/las ciudadanas responsables en estos asuntos (Acevedo et al., 2005). Por otro lado Acevedo (2008), asevera que se necesita de más investigación en didáctica para llegar a afirmar que realmente una adecuada comprensión de la NOS puede contribuir de un modo positivo a que los/las

estudiantes y las personas adultas sean capaces de desarrollar actitudes y creencias más adecuadas sobre la ciencia que les ayuden a alcanzar una alfabetización científica más completa, al parecer no hay un acuerdo entre los dos puntos de vista antes mencionados, esto hace pensar que aun, no hay una posición conceptual y metodológica clara del porque insertar la NOS en la educación, tópico que demanda de la comunidad en didáctica resultados de investigación con el objeto de solucionar dicho problema.

Desde otra perspectiva, Guridi & Arriasecq (2004) enuncian que el conocimiento de determinados tópicos de epistemología, tales como evidencia, método y explicación, pueden ayudar a los ciudadanos a tomar decisiones más críticas acerca de importantes temas científicos y tecnológicos en las sociedades democráticas. Así, existe un consenso en que es necesario que el ciudadano del siglo XXI no sólo conozca ciencia sino que también sepa cómo es creada y validada, cómo se desenvuelve a través de la Historia y cómo se relaciona con el medio social y cultural. Es el llamado enfoque CTS, que defiende la incorporación de la historia y epistemología en la educación científica como parte de la formación de una conciencia ciudadana en los y las estudiantes de este nuevo milenio.

3.5 NOS y currículo

Por ejemplo Acevedo et al. (2005), proponen que los currículos de ciencias han de estar centrados sobre todo en los contenidos conceptuales que se rigen por la lógica interna de la ciencia y enuncia que sea hecho a un lado la formación sobre la ciencia misma; esto es, sobre ¿qué es la ciencia y, su funcionamiento interno y externo?, ¿cómo se construye y desarrolla el conocimiento?, como también los métodos que se usan para validar ese conocimiento, los valores implicados en las actividades científicas, la naturaleza de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y, viceversa, las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad. Todos estos aspectos constituyen a grosso modo la mayor parte de lo que se conoce como NOS, entendida ésta en un sentido amplio y no exclusivamente reducido a lo epistemológico.

De otra parte Acevedo et al. (2007a), afirman que como elemento curricular de la alfabetización científica y tecnológica, la enseñanza de la NOS es una innovación en la educación científica de extraordinaria magnitud y no es fácil llevarla a cabo, pero postulan que habría dos corrientes opuestas sobre la dificultad de la NOS para convertirse en contenido curricular de la educación científica. La primera es una posición de disenso, la cual sostiene que no es factible alcanzar acuerdos básicos sobre NOS. La segunda, es una posición de consenso que defiende la posibilidad de conseguir acuerdos básicos sobre NOS, pese a su complejidad y a los desacuerdos existentes todavía en ciertos temas. El desarrollo curricular de la NOS requiere, sin duda, una adaptación a la edad de los/las estudiantes, como la correspondiente transposición didáctica o conocimiento didáctico del contenido y el diseño de actividades de enseñanza apropiadas para aclarar significados, conceptos, teorías, modelos científicos, etc. Por tanto, estas creencias en apariencia simples son pertinentes y válidas para la graduación de los aprendizajes relativos a la NOS, teniendo presente que su objetivo es la mejora de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

4. INFERENCIAS FINALES

Podemos pensar que hay un relativo acuerdo a lo que se refiere al concepto de naturaleza de la ciencia. Lo que no queda claro, son las metaciencias que conforman a dicho campo de conocimiento, aspecto que exige a la comunidad de especialistas a que generen los acuerdos pertinentes.

Estamos de acuerdo con que la naturaleza de la ciencia no es únicamente la reflexión epistemológica, sino que también estaría acompañada por los análisis históricos y sociológicos de la ciencia. Lo que si se observa, es que los/as especialistas no asumen una posición con respecto a una tendencia epistemológica, histórica y sociológica (EHS), lo que demanda de investigaciones al respecto, para determinar que versiones EHS serían las más pertinentes para cada nivel educativo.

Los resultados obtenidos muestran que en lo que respecta a las relaciones entre NOS e historia de la ciencia; currículo y alfabetización científica falta más reflexión teórica, lo que nos permite inferir que los/as especialistas han de generar los consensos respectivos para estas relaciones con el objetivo de establecer los marcos conceptuales y metodológicos para llevar a cabo las estrategias de enseñanza para cualquier nivel educativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO DÍAZ, José Antonio. El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 5 (2): 134-169, 2008.
- . VÁZQUEZ ALONSO, Ángel; MARTÍN, Mariano; OLIVA, José María; ACEVEDO ROMERO, Pilar; PAIXÃO, María Fátima; MANASSERO MAS, María Antonia. Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 2 (2): 121-140, 2005.
- . VÁZQUEZ ALONSO, Ángel; MANASSERO MAS, María Antonia; ACEVEDO ROMERO, Pilar. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 4 (1): 42-66, 2007 (a).
- . VÁZQUEZ ALONSO, Ángel; MANASSERO MAS, María Antonia; ACEVEDO ROMERO, Pilar. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 4 (2): 202-225, 2007 (b).
- ABD-EL-KHALICK, Fouad. Developing deeper understanding of nature of science: The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers views and instructional planning. *International Journal of Science Education* 27 (1): 15-42, 2005.
- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis*, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá (número extra): 23-33, 2005.
- . Una introducción a la naturaleza de la ciencia. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2005 (a).
- . IZQUIERDO, Merce; ESTANY, Ana. Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (3): 465-476, 2002.

- ARRIASSECQ, Irene; GRECA, Ileana María. Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio y polimodal. *Ciência & Educação* 8 (1): 55-69, 2002.
- FERNÁNDEZ, Isabel; GIL, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; CACHAPUZ, António; PRAIA, Joao. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* 20 (3): 477-488, 2002.
- FLICK, Lawrence; LEDERMAN, Norman (eds.). Introduction. *Scientific inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education*. Kluwer Academic Publishers, 2006.
- GURIDI, Verónica; ARRIASSECQ, Irene. Historia y filosofía de las ciencias en la educación polimodal: propuesta para su incorporación al aula. *Ciência & Educação* 10 (3): 307-316, 2004.
- GUISASOLA, Jenaro; MORENTIN, Maite. Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de educación primaria?. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 6 (2): 246-262, 2007.
- McCOMAS, William. *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer, 1998.
- PRAIA, João; GIL PÉREZ, Daniel y VILCHES, Amparo. "O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania". *Ciência & Educação*, 13 (2): 141-156, 2007.

ENTRE O DISCURSO E A PRÁTICA SOBRE HISTÓRIA, FILOSOFIA E NATUREZA DA CIÊNCIA E A SALA DE AULA DE FÍSICA: UM PANORAMA A PARTIR DOS EVENTOS DE ENSINO DE FÍSICA

Rilavia Almeida de Oliveira*
Ana Paula Bispo da Silva**

Resumo: Há mais de 10 anos, pesquisas e reformas curriculares têm apontado a História e a Filosofia da Ciência (HFC) como uma tentativa de tornar o Ensino de Ciências mais contextualizado. Além de humanizar o Ensino de Ciências, a HFC também seria utilizada para estimular os estudantes a praticar a Ciência e adquirir uma visão crítica do que chamamos Natureza da Ciência (NdC). Entretanto, essas pesquisas permanecem muito distantes da sala de aula de Física no Brasil. Neste trabalho analisamos os anais dos dois principais eventos de Ensino de Física (EPEF e SNEF) entre os anos de 2000 e 2009. Nosso foco foi sobre trabalhos que relatavam o uso da HFC no Ensino de Física, incluídos nas diferentes áreas temáticas dos eventos. Os resultados mostraram que de 125 trabalhos localizados inicialmente, somente 26 tiveram uma intervenção prática em sala de aula. Entre os 26 que fizeram a intervenção prática, apenas 10 estavam preocupados em discutir a NdC. Além disso, constatou-se que a maioria das intervenções utilizou apenas textos como material base. Fica evidente assim, que ainda há muito a fazer para aproximar a prática do discurso sobre as vantagens ou desvantagens da inclusão da HFC e NdC no Ensino de Física.

Palavras-chave: História e Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência; Ensino de Física

THE SPEECH AND THE PRACTICE ABOUT HISTORY, PHILOSOPHY AND NATURE OF SCIENCE, AND THE CLASSROOM: A VIEW FROM PHYSICS TEACHING SEMINARS

Abstract: For the last 10 years, many research and curricula reforms have pointed the History and Philosophy of Science (HPS) as a good path into turning Science Teaching more contextualized. Besides humanizing science teaching, History and Philosophy would also be used to stimulate students to practice Science and to acquire a critical view of what we call Nature of Science (NoS). However, these researches are too distant from the physics classrooms in Brazil. In this work we analyzed the annals of the two principal seminars about Physics Teaching (EPEF and SNEF) in the last ten years. We focused on articles that reported the use of History and Philosophy of Science in Physics Teaching. The results showed that from

* Estudante de graduação do curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual da Paraíba. Correio Eletrônico: rilavia.almeida@gmail.com

** Docente da Universidade Estadual da Paraíba. Correio Eletrônico: anabispouepb@gmail.com

the 125 articles initially selected, only 26 of them applied practical interventions in classroom. Between the 26 articles, only 10 were worried with Nature of Science. Besides this, we notice that most of them made use only of texts as tool to explore HPS and NoS. It is evident that we still have a lot to do to approximate the practice to the speech on the advantages and disadvantages of to include HPS and NoS in the physics teaching.

Key-words: *History and Philosophy of Science; Nature of Science; Physics Teaching*

1. INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN e PCN+) completaram em 2010, 10 anos de existência. Apontando a necessidade de contextualização do ensino, os PCN afirmam que o Ensino de Física deve contribuir para que os estudantes desenvolvam seu senso crítico, como também adquiram uma cultura científica efetiva.

Na busca de meios para se contextualizar o ensino, e mostrar o processo de transformação da ciência, e em especial da Física, a História e a Filosofia da Ciência (HFC)¹, têm sido indicadas como uma estratégia didática que pode trazer benefícios em vários níveis. A pesquisa nesse sentido é ampla, contando com uma vasta bibliografia, tanto nacional quanto internacional (Forato, 2009; Höttecke & Silva, 2011). Os argumentos a respeito da inclusão da HFC no ensino repetem-se entre os pesquisadores, seja para suas vantagens ou desvantagens.

De uma maneira geral, os argumentos para a utilização da HFC são, entre outros, que ela: motiva e atrai os alunos; humaniza o conteúdo ensinado; favorece uma melhor compreensão dos conceitos científicos, pois os contextualiza e discute seus aspectos obscuros; ressalta o valor cultural da ciência; enfatiza o caráter mutável do conhecimento científico; abre espaço para o pensamento crítico, de forma que haja uma interação e não apenas se apresente as fórmulas prontas ao alunado; e, permite uma melhor compreensão do método científico (Matthews, 1995, p. 172; Höttecke & Silva, 2011).

Assim como Martins (1990) e Matthews (1995), Torres & Badillo (2007) também são de acordo com a inclusão de HFC no Ensino. Torres & Badillo (2007) lembram que a HFC deve ter por objetivo no Ensino reproduzir uma concepção de Ciência que apresente de maneira bem próxima como ocorreu a construção do conhecimento científico, ou seja, procure afastar dos estudantes a concepção de existência de método científico universal, que além de repassar uma visão ahistórica da Ciência, não esclarece o caráter coletivo da construção do conhecimento. Observamos, então, que as relações entre HFC, NdC e Ensino não são uma novidade, e continuam presentes nos trabalhos atuais com os mesmos argumentos.

Podemos perceber que vários autores apontam a inclusão da HFC no ensino como uma estratégia pedagógica adequada para discutir certas características da NdC (Abd-el-Khalic & Lederman, 2000). Como afirma Gil-Pérez (2001), caso os estudantes fossem apresentados a reconstruções histórico-filosóficas confiáveis, teriam um bom conhecimento sobre NdC, o que acarretaria numa concepção adequada sobre a Ciência. Entretanto, ele lembra que quando o Ensino de Ciências apresenta aos estudantes os conteúdos já elaborados, sem fazer referência à sua construção, eles são levados a adquirirem uma visão não muito diferente da que a

¹ Alguns autores também incluem nesse contexto a Sociologia da Ciência (HFSC), porém não é o caso do presente trabalho.

população em geral possui em relação à Ciência, acreditando que a construção do conhecimento se dá através do método científico universal.

Segundo as pesquisas da área, o conhecimento da NdC, conforme as concepções consideradas mais adequadas atualmente, permite a formação de um cidadão crítico, apto, inclusive, para a tomada de decisões em sentido amplo (Acevedo *et al.*, 2005; Praia; Gil-Perez & Vilches, 2007). Neste ponto, cumpre destacar que as pesquisas envolvem tanto as concepções dos alunos, quanto a dos professores e como elas se relacionam, ou não, na formação final da visão crítica da Ciência.

Apesar de Martins (1990) defender o uso da HFC no Ensino, ele lembra que se a História da Ciência for mal utilizada no ensino, como por exemplo, apresentando apenas uma cronologia de fatos mencionando alguns nomes importantes, usando anedotas ou ainda para impor doutrinas, não contribui para a compreensão de conteúdos e ainda proporciona uma visão distorcida e mistificada da Ciência e dos cientistas. A ausência ou o mau uso da HFC no Ensino leva o estudante a pensar que a ciência surge de um trabalho linear e cumulativo, ignorando-se assim as grandes crises da construção conhecimento científico (Peduzzi, 2001).

As pesquisas apontam que as deformações encontradas em narrativas históricas, podem levar os estudantes a adquirirem visões inadequadas da NdC. Segundo Forato (2009), a historiografia atual denomina de distorções os vários enfoques que uma abordagem problemática apresenta com relação a um episódio histórico, ao interpretá-lo. Essas distorções históricas podem proporcionar uma falsa visão da Natureza da Ciência, desestimulando o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos, e acabam representando um obstáculo à utilização da HFC no ensino.

Para o caso específico da Física, uma revisão feita por Seroglou & Koumaras (2001) mostra que a especificidade das pesquisas entre História e Ensino teve diferentes enfoques, concentrando-se nos últimos anos no que os autores chamam de dimensão metacognitiva: a História auxiliaria o estudante a entender o que é uma teoria, modelos, o papel do experimento dentro da Física e a relação entre observação e teoria. Ou seja, a Natureza da Ciência.

Podemos então concluir que tanto as motivações (PCN), quanto as pesquisas em HFC e NdC já fazem parte da agenda de pesquisas em Ensino há um bom tempo. Porém, isso nos leva a perguntar se existe o reflexo dessas discussões em sala de aula, na forma de intervenções práticas, e como elas vêm ocorrendo, principalmente na sala de aula de Física, em âmbito nacional. Uma forma de investigar tais práticas é tentar localizá-las nos eventos de destaque nacional na área de Ensino de Física (EPEF – Encontro de Pesquisa em Ensino de Física e SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física) na última década. Optamos por esses dois eventos por serem os únicos dois eventos nacionais da área de Ensino vinculados a Sociedade Brasileira de Física (SBF), bem como pela importante contribuição dada às pesquisas relacionadas ao Ensino de Física.

De fato, o SNEF é um evento atualmente bienal que, desde 1970, reúne alunos e professores dos diversos níveis de ensino, com o objetivo de discutir questões relacionadas ao ensino e aprendizagem de Física, à pesquisa desenvolvida na área de Ensino de Física e à formação de profissionais para atuarem nessa área, contribuindo assim, de maneira significativa para a pesquisa em Ensino de Física. Assim como o SNEF, o EPEF que foi criado em 1986 também se constitui um espaço para trocas de ideias entre pesquisadores de diferentes

regiões do país e do exterior, além de promover a reflexão sobre políticas educacionais na área de Ciência e Tecnologia. Os EPEFs têm como objetivo viabilizar as discussões sobre as diferentes pesquisas desenvolvidas pela área de Ensino no Brasil, bem como sistematizar seus avanços, além de procurar identificar as grandes preocupações e dificuldades do Ensino da Física, para assim discutir possíveis soluções.

O objetivo deste trabalho é, a partir da análise dos trabalhos contidos nos anais dos SNEF e do EPEF entre os anos de 2000 e 2009, investigar, em termos quantitativos, as intervenções didáticas realizadas na última década que contextualizam o Ensino de Física através da HFC, e se o fazem com o objetivo de proporcionar uma compreensão da NdC.

Vale salientar que na presente pesquisa procuramos identificar os seguintes aspectos relacionados à NdC nas intervenções didáticas presentes nos anais dos SNEF e do EPEF: (i) uma observação significativa não é possível sem uma expectativa preexistente, ou seja, recusa a concepção empírico-indutivista da ciência; (ii) não existe método científico universal; (iii) a ciência é uma atividade humana influenciada pelo contexto social, político e cultural de cada época; (iv) conhecimento científico é mutável.

2. BUSCA E ANÁLISE DOS ANAIS DOS EVENTOS EPEF E SNEF

Após a revisão das pesquisas sobre HFC e NdC, partimos para a localização dos anais do SNEF e do EPEF, sendo que quase todos estão disponíveis na página da SBF. Localizamos os anais do EPEF – 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 e do SNEF – 2001, 2003, 2005, 2007, 2009. Vale lembrar que não consideramos na nossa análise o SNEF 2001, uma vez que só há pôsteres (resumos) e estamos interessadas em trabalhos completos.

Nos anais procuramos os trabalhos que demonstravam através do título discutir aspectos referentes à HFC. Podemos perceber no SNEF que as áreas: *Didática da Física: Materiais, Métodos, Avaliação; Formação do Professor de Física; Educação Científica e Formação profissional; Alfabetização Científica e Tecnologia e Ensino de Física; Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física; Tecnologia da Informação e Ensino de Física; Interdisciplinaridade e Ensino de Física; Política para o Ensino de Ciência e de Tecnologia; Arte, Cultura e Educação Científica; e Divulgação Científica* estavam presentes em todos os eventos pesquisados. Entretanto, algumas delas mudaram de nome ao longo dos anos na medida em que foram incorporando novos aspectos. Existem também áreas que não estavam em todos os eventos pesquisados, mas apareciam pontualmente em um ano ou outro.

Com relação ao EPEF, ao longo dos anos pesquisados é possível perceber que as seguintes áreas estavam presentes em todos os anos pesquisados: *Filosofia, História e Sociologia da Ciência e o Ensino de Física; Didática, Currículo e Avaliação no Ensino de Física; Ensino-aprendizagem de Física; Formação e Prática Profissional de Professores de Física; Ciência, Tecnologia e Sociedade e o Ensino de Física*. Assim, como ocorreu no SNEF, no EPEF estas áreas também foram mudando de nome ao longo dos anos, bem como existem áreas que aparecem em um ano ou outro. Entretanto, existe uma particularidade no EPEF 2000: as áreas temáticas estão divididas em subáreas, como por exemplo, a área relacionada à HFC é denominada de *Questões históricas, filosóficas e epistemológicas* e constitui-se uma subárea de *Currículo e Inovação Educacional*.

Feito o reconhecimento destas áreas, procuramos em todas elas os trabalhos cujo título trazia aspectos que clarificava o uso da HFC, pois podemos perceber que existiam trabalhos que tratavam de HFC em outras áreas temáticas e não apenas na área de *Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física*. Isto explica o fato desta área temática, no SNEF 2007, ter 18 trabalhos e termos levado para nossa análise 25 trabalhos (Teixeira & Freire Jr., 2007).

Ao fazermos a busca nos anais do SNEF e do EPEF, foram identificados no EPEF um total de 39 trabalhos no tema pesquisado. Já todos os trabalhos deste tema encontrados nos SNEF, totalizam 86. Enfim, somando todos os trabalhos encontrados, nesses dois eventos, identificamos 125 trabalhos. O número de trabalhos encontrados neste tema em relação ao número total de trabalhos publicados nos eventos nos mostra que esta área é bastante discutida nos dois eventos de física.

De posse desse material, seguimos para uma análise preliminar dos trabalhos contidos nos anais. Adotamos como critérios para eliminação os mesmos utilizados por Teixeira; Greca & Freire (2009) em sua pesquisa. Tais critérios consistiam na avaliação do título, resumo e palavras-chave, que deveriam conter elementos que permitiam sua correlação com os trabalhos que eram objeto desta pesquisa. Dividimos esta análise preliminar em duas etapas de categorização.

Na primeira etapa, a partir do critério acima definido, excluimos os trabalhos que não tratavam diretamente de HFC (Rodrigues & Borges, 2008). Assim, fazendo uma leitura do resumo e das palavras-chaves procuramos identificar quais trabalhos dentre os que compunham a amostra discutiam realmente aspectos referentes à HFC. Depois desta primeira parte da análise preliminar restaram 22 artigos no EPEF e 36 artigos no SNEF, como disposto nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Relação entre todos os trabalhos encontrados no EPEF e os que ficaram após a primeira etapa da análise preliminar.

EPEF (Ano)	Nº total de trabalhos do evento	Nº de trabalhos encontrados na área	Nº de trabalhos que ficaram após a 1ª etapa da análise preliminar
2000	55	6	2
2002	46	2	2
2004	66	12	6
2006	108	3	1
2008	123	16	11
Total:	398	39	22

Tabela 2. Relação entre todos os trabalhos encontrados no SNEF e os que ficaram após a primeira etapa da análise preliminar.

SNEF (Ano)	Nº total de trabalhos do evento	Nº de trabalhos encontrados na área	Nº de trabalhos que ficaram após a 1ª etapa da análise preliminar
2003	391	27	8
2005	192	24	11
2007	152	25	11
2009	186	10	6
Total:	921	86	36

Pegamos os 58 trabalhos que restaram após a primeira etapa da análise preliminar e seguimos para a segunda etapa. Já na segunda etapa da análise preliminar, que também foi baseada na leitura do resumo e das palavras chaves, excluímos os trabalhos que apesar de discutirem HFC, não deixaram claro se fizeram alguma intervenção prática em sala de aula. Ao realizar esta segunda etapa restaram 8 trabalhos no EPEF e 18 no SNEF, como disposto nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Relação entre todos os trabalhos encontrados no EPEF e os que ficaram após a segunda etapa da análise preliminar.

EPEF (Ano)	Nº total de trabalhos do evento	Nº de trabalhos encontrados na área	Nº de trabalhos que ficaram após a 1ª etapa da análise preliminar.	Nº de trabalhos que ficaram após a 2ª etapa da análise preliminar
2000	55	6	2	1
2002	46	2	2	0
2004	66	12	6	3
2006	108	3	1	0
2008	123	16	11	4
Total:	398	39	22	8

Tabela 4. Relação entre todos os trabalhos encontrados no EPEF e os que ficaram após a segunda etapa da análise preliminar.

SNEF (Ano)	Nº total de trabalhos do evento	Nº de trabalhos encontrados na área	Nº de trabalhos que ficaram após a 1ª etapa da análise preliminar.	Nº de trabalhos que ficaram após a 2ª etapa da análise preliminar
2003	391	27	8	3
2005	192	24	11	3
2007	152	25	11	7
2009	186	10	6	5
Total:	921	86	36	18

Após as duas etapas de análise baseadas nos critérios utilizados por Teixeira; Greca & Freire (2009) em sua pesquisa, ficamos com um universo de 26 trabalhos, 18 do SNEF e 8 do EPEF, os quais foram lidos por completo para verificarmos quais realmente fizeram uma intervenção prática em sala de aula, e se a fizeram com o intuito de provocar uma compreensão da NdC ou apenas contextualizar os conteúdos físicos. Além disso, analisamos qual foi a metodologia utilizada em cada intervenção, verificando se foram utilizados materiais diferenciados ou se elas foram baseadas apenas em textos.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

A segunda parte deste trabalho constou da leitura e análise das 26 intervenções que restaram após a análise preliminar dos trabalhos. Das 26 intervenções encontradas, 18 foram encontradas no SNEF e 8 no EPEF.

Com relação ao SNEF, ao analisarmos os 18 trabalhos que, a partir do resumo, pareciam ter feito uma intervenção em sala, verificamos que 3 desses trabalhos não fizeram uma intervenção prática em sala de aula. Dos 15 trabalhos que fizeram uma intervenção prática em sala de aula, 8 o fizeram com o intuito de provocar uma compreensão da NdC e 7 deles fizeram uma intervenção abordando os conteúdos com a HFC, mas não tinham por objetivo proporcionar uma compreensão da NdC. Dos 7 trabalhos que apenas fizeram uma intervenção prática em sala de aula, mas não tinham por objetivo proporcionar uma compreensão da NdC, em sua maioria tinham o objetivo de contextualizar o Ensino de Física com a HFC visando uma melhor compreensão dos conteúdos. Um deles tinha por objetivo investigar a postura dos alunos no laboratório didático (Villani & Dias, 2003) e outro tinha por objetivo apenas mostrar a importância da inclusão da HFC no ensino, através de um curso aplicado no segundo ano de um curso técnico de química industrial, onde ministraram os conteúdos físicos contextualizados com a HFC (Hornes; Silva & Pinheiro, 2009).

Nas 8 intervenções realizadas que visaram proporcionar uma compreensão da NdC, encontramos a utilização de diferentes recursos e metodologias na exploração da História. Dentre elas, uma descreveu que se baseou em filmes de ficção (Silva; Bocanegra & Oliveira, 2005) e, entre as outras 7, algumas mencionam que utilizaram recursos paralelos como experimentos, discussões, exposições de obras de arte, peças teatrais e oficinas pedagógicas, etc.; além da análise de textos.

Com relação ao EPEF, ao analisarmos os 8 trabalhos que restaram após a análise preliminar, constatamos que dentre eles apenas 3 fizeram realmente uma intervenção prática em sala de aula. Dos 3 trabalhos que fizeram realmente uma intervenção, 2 o fizeram visando uma compreensão da NdC (Paula & Borges, 2004; Forato; Martins & Pietrocola, 2008) e 1 fez uma intervenção com o intuito de contextualizar os conteúdos físicos com a HFC. Os outros 5 trabalhos não fizeram uma intervenção prática em sala de aula.

Das 2 intervenções que procuraram propiciar uma compreensão da NdC, uma delas dividiu todo o conteúdo em pequenos textos que foram base para debates e discussões em sala de aula. Durante esta intervenção também foi desenvolvida uma peça teatral e utilizados recursos multimídias como vídeos disponíveis no Youtube (Forato; Martins & Pietrocola, 2008). Na segunda intervenção os autores descrevem que desenvolveram um material composto de textos e atividades para que assim o professor apresentasse aos alunos, durante a intervenção, o papel da imaginação na produção das Ciências (Paula & Borges, 2004). O outro trabalho que apenas fez uma intervenção, mas não teve por objetivo propiciar uma compreensão da NdC, utilizou a História da Ciência para proporcionar uma melhor compreensão dos conteúdos do magnetismo (Souza Filho; Boss & Caluzi, 2008). Poderemos observar esses resultados mais detalhadamente, nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Relação entre os trabalhos do EPEF que ficaram após a análise preliminar e os trabalhos que fizeram uma intervenção prática visando uma compreensão da NdC.

EPEF (Ano)	Nº de trabalhos que ficaram após a análise preliminar	Nº de trabalhos que fizeram uma intervenção prática em sala de aula:		Nº de trabalhos que não fizeram uma intervenção prática
		Com NdC	Sem NdC	
2000	1	0	0	1
2002	0	0	0	0
2004	3	1	0	2
2006	0	0	0	0
2008	4	1	1	2
Total:	8	2	1	5

Tabela 6. Relação entre os trabalhos do SNEF que ficaram após a análise preliminar e os trabalhos que fizeram uma intervenção prática visando uma compreensão da NdC.

SNEF (Ano)	Nº de trabalhos que ficaram após a análise preliminar	Nº de trabalhos que fizeram uma intervenção prática em sala de aula:		Nº de trabalhos que não fizeram uma intervenção prática
		Com NdC	Sem NdC	
2003	3	2	1	0
2005	3	2	1	0
2007	7	2	2	3
2009	5	2	3	0
Total:	18	8	7	3

4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Após uma busca aos anais dos SNEF e dos EPEF, é possível perceber que o número de trabalhos publicados na área de HFC e NdC no Ensino de Física é muito maior no SNEF do que no EPEF. Como observamos na tabela 1, o número de trabalhos publicados nesta área no SNEF decaiu ao longo dos anos. Se observarmos, iremos ver que no SNEF 2003 foram publicados vinte e sete trabalhos na área, enquanto no SNEF 2009 apenas dez trabalhos foram encontrados nesta área. Já com relação ao EPEF, é possível perceber que os números não seguem uma escala crescente, nem decrescente, mas variam em torno de seis no EPEF 2000 e dezesseis no EPEF 2008.

Ao analisar a tabela 1, observamos que embora tenham sido encontrados muitos trabalhos na área (125 trabalhos), menos da metade tratavam diretamente de HFC e NdC. Após a segunda etapa da análise preliminar, é possível perceber que a mesma relação se mantém, pois dos cinquenta e oito trabalhos que ficaram após a primeira etapa, apenas vinte e seis fizeram uma intervenção prática em sala de aula.

Em relação às áreas temáticas dos eventos em que os trabalhos apareceram inscritos, parece não haver uma diferenciação clara por parte dos organizadores e pareceristas em qual delas estudos de

HFC e NdC devem se encaixar. Intervenções práticas, exemplos de episódios históricos e reflexões sobre a utilização da HFC na sala de aula aparecem em diferentes áreas temáticas.

É possível notar algumas diferenças entre os trabalhos encontrados nos SNEF e EPEF. Apesar da proporção do número de trabalhos envolvendo HFC, em relação ao número total de trabalhos, ser a mesma para os dois eventos, esta proporção não se mantém quando o trabalho teve por objetivo tratar da NdC. Constatamos que no SNEF a proporção de trabalhos envolvendo NdC (9,3%) é maior que no EPEF (5,12%).

Após a segunda etapa da análise preliminar, foi possível notar que durante os dez anos pesquisados não houve uma evolução significativa no número de trabalhos que fizeram uma intervenção prática em sala de aula. Isso tanto para o EPEF como para o SNEF.

Enfim, após a análise preliminar dos trabalhos encontrados é possível notar que embora já faça mais de dez anos do início das discussões acerca da inclusão da HFC e NdC no Ensino de Ciências, são poucos os trabalhos que realmente fizeram uma intervenção prática em sala de aula. No entanto, a área parece ter critérios muito amplos para a inclusão nos eventos, já que, apesar não ter relações com HFC ou NdC, os trabalhos estavam inseridos na área temática de Filosofia, História e Sociologia da Ciência e Ensino de Física.

Com relação às formas de intervenção, os resultados encontrados para o eventos brasileiros da área de Ensino de Física refletem, em parte, resultados internacionais, em que as intervenções se concentram na utilização de textos (Teixeira; Greca & Freire Jr., 2009).

Esta pesquisa mostrou-nos que ainda há muito por fazer na área que envolve HFC e NdC, principalmente no que diz respeito à parte prática da sala de aula, já que o discurso sobre as vantagens destes temas no ensino encontra-se bem delineado nas pesquisas nacionais e internacionais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual da Paraíba, que financiou parte desta pesquisa através do Programa de Incentivo à Pesquisa (PROPEQ 2008) e de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G. The influence of history of science course on students' view of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **37** (10): 1057-1095, 2000.
- ACEVEDO, Jose Antonio; VAZQUEZ, Angel; PAIXÃO M. f.; ACEVEDO, Pilar; OLIVIA, J. M.; MANASSERO, Maria Antonia. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. *Ciência & Educação* **11** (1): 1-15, 2005.
- BRASIL. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. Brasília: MEC, 2002 (a).
- BRASIL. *Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 2002 (b).
- GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel Fernandez; ALÍS, Jaime Carrascosa; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação* **7** (2): 125-153, 2001.

- FORATO, Thaís Cyrino de Mello. *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- HÖTTECKE, Dietmar; SILVA, Cibelle C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education* **20**: 293-316, 2011.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **9**: 3-5, 1990.
- MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **12** (3): 164-214, 1995.
- RODRIGUES, Bruno A.; BORGES, A. Tarciso. O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2008, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2008.. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0141-1.pdf>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2010.
- PEDUZZI, Luiz O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. in: PIETROCOLA, Maurício (org.). *Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.
- PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação* **13** (2): 141-156, 2007.
- SEROGLOU, Fanny; KOUMARAS, Panagiotis. The contribution of the history of physics in physics education: a review. *Science & Education* **10**: 153-172, 2001.
- TEIXEIRA, Elder Sales; GRECA, Ileana Maria; FREIRE Jr., Olival. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science & Education* DOI: 10.1007/s11191-009-9217-3, 2009.
- TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE Jr., Olival. Um Estudo sobre a Influência da História e Filosofia da Ciência na Formação de Estudantes de Física. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. *Atas...* São Luís: Sociedade Brasileira de Física, 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/v1/>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2010.
- TORRES, Adriana Patrícia Gallego; BADILLO, Rômulo Gallego. Historia, Epistemología y Didáctica de las Ciencias: unas relaciones necesarias. *Ciência & Educação* **13** (1): 85-98, 2007.

RELAÇÃO FINAL DE TRABALHOS QUE FORAM ANALISADOS QUANTO À INTERVENÇÃO EM SALA DE AULA².

- BARROS, Marco Antonio. Uma análise histórica do princípio de Fermat e suas implicações no ensino da reflexão e refração da luz. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2009, Vitória. *Atas...* Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009.

² Com exceção dos trabalhos do SNEF 2003 e do EPEF 2000, que estão disponíveis em CD-ROM, todos os trabalhos analisados quanto à intervenção didática estão disponíveis no site da SBF: <http://www.sbfisica.org.br/v1/>.

- BRAGA, Marco; GUERRA, Andréia; REIS, José Cláudio. Cinema e história da ciência na formação de professores. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- BOCANEGRA, Carlos Henrique; SILVA, Luis Fernandes; ANDRADE, Agnaldo A. F. A natureza da ciência e o processo educativo: Relato de uma experiência de ensino realizada em uma escola pública de ensino médio. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- CUDMANI, Leonor Colombo de. ¿Qué puede aportar la epistemología a los diseños curriculares en física? In: VII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, março 2000, Florianópolis. Sociedade Brasileira de Física, 2000.
- FORATO, Thaís Cyrino de Mello; MARTINS, Roberto de Andrade; PIETROCOLA, Maurício. Teorias da luz e natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no ensino médio. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2008, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2008..
- FREITAS, Fábio Henrique de Alencar; FREIRE JR., Olival. O plano inclinado galileano: notas sobre uma tomada de dados com estudantes do ensino superior. In: XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2005, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- GOMES, Gerson G.; PIETROCOLA, Maurício. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2008, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2008.
- GUERRA, Andréia; REIS, José Cláudio; BRAGA, Marco. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, março, 2003, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2003. GUERRA, Andréia; BRAGA, Marco; REIS, José Cláudio. Um curso de Cosmologia na primeira série do Ensino Médio com enfoque Histórico-Filosófico. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2009, Vitória. Atas... Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009.
- HORNES, Andréia; SILVA, Sani de C. Rutz da; PINHEIRO, Nilcéia A. Maciel. Uma atividade histórico-crítica da evolução científica, tecnológica e social no estudo da termodinâmica. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2009, Vitória. Sociedade Brasileira de Física, 2009.
- MONTE, Marciel José do; ALMEIDA, Jairo R. Lopes de. História da física no ensino médio. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto. A Utilização da História da Ciência no Ensino de Física: investigando o contexto da construção do espectroscópio de chamas. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- PAULA, Helder de F.; BORGES, Antônio Tarciso. A compreensão dos estudantes sobre o papel da imaginação na produção das ciências. In: IX ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2004, Jaboticatubas. Sociedade Brasileira de Física, 2004.
- PEDUZZI, Luiz O. Q. Do átomo grego ao átomo de Bohr: o perfil de um texto para a disciplina evolução dos conceitos da física. In: IX ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA,

- outubro, 2004, Jaboticatubas. Sociedade Brasileira de Física, 2004.
- PEDUZZI, Luiz O. Q.; DANIEL, Gilmar Praxedes. Tycho Brahe e Kepler na escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2008, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2008.
- QUINTAL, João Ricardo; MORAES, Andréia Guerra de. A história da ciência no processo ensino-aprendizagem. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2009, Vitória. Sociedade Brasileira de Física, 2009.
- SILVA, Luciano Fernandes; BOCANEGRA, Carlos Henrique; OLIVEIRA, Josely Kobal de. A compreensão dos alunos do ensino médio em relação aos aspectos da natureza da ciência. In: XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2005, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- SILVA, Evilásio P. da; FERREIRA, Daniela L.; REINEHR, Edson Eduardo; ANDRADE, José Maurício. “Do início até você”: um curso de história da ciência e tecnologia através de filmes no ensino médio. In: XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2005, Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Física, 2005.
- SILVA, Marcelo Souza da; TEIXEIRA, Elder Sales. Um estudo de caso acerca da influência de uma abordagem contextual na compreensão do conceito de inércia de estudantes de física. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- SILVEIRA, Alessandro F.; ATAÍDE, Ana R. P.; SILVA, Ana P. B.; FREIRE, Morgana L. de F. Natureza da ciência numa proposta de seqüência didática: explorando os pensamentos de Aristóteles e Galileu sobre o movimento relativo. In: XVIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2009, Vitória. *Atas...* Vitória: Sociedade Brasileira de Física, 2009. SOUZA, Roseli Ovale de; ARAÚJO, Mauro S. Teixeira de; GUAZZELLI, Iara R. Bocchese; MACIEL, Maria Delourdes. Concepções dos Estudantes sobre a Ciência, os Cientistas e o Método Científico: uma Abordagem Histórico-Crítica como Base para uma Proposta de Intervenção Visando a Resignificação destes Conceitos. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- SOUZA FILHO, Moacir Pereira; BOSS, Sérgio L. Bragatto; CALUZI, João José. Perfil e obstáculo epistemológico na aprendizagem do conceito de ímã. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2008. Sociedade Brasileira de Física, 2008.
- TEIXEIRA, Elder Sales; FREIRE JR., Olival. Um Estudo sobre a Influência da História e Filosofia da Ciência na Formação de Estudantes de Física. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, janeiro, 2007, São Luís. Sociedade Brasileira de Física, 2007.
- VEGA, Lúcio Flávio Leal. A história da física: uma nova perspectiva para o ensino de física. In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, março, 2003, Curitiba. Sociedade Brasileira de Física, 2003.
- VILLANI, Alberto; DIAS, Valéria Silva. História da Ciência e ensino: subsídios de Faraday para a metodologia do trabalho experimental. In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, março, 2003, Curitiba. *Atas...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2003. VILLANI, Alberto; DIAS, Valéria Silva. Uma contribuição da história da ciência para a pesquisa em ensino de ciências. In: IX ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, outubro, 2004, Jaboticatubas. Sociedade Brasileira de Física, 2004.

IV. APLICAÇÕES EM SALA DE AULA

STUDENTS' BELIEFS ABOUT THE DIACHRONIC NATURE OF SCIENCE: A METAPHOR-BASED ANALYSIS OF 8TH-GRADERS' DRAWINGS OF "THE WAY OF SCIENCE"

Andreas Henke^{*}
Dietmar Höttecke^{**}

Abstract: Numerous scholars recommend the use of history of science to promote adequate views about the nature of science (NOS). Such teaching episodes tend to focus on a diachronic (occurring over time) understanding of science, presenting knowledge, methods and organization of science as subject to change and development. Since students may hold inadequate beliefs about the development of science or regard past science as having a different "nature" than contemporary science, HPS education would benefit from a sound knowledge base about students' beliefs about the diachronic nature of science.

In this paper we present the theoretical background, methodological considerations and preliminary results of a drawing-based instrument called TWOS (The Way of Science). TWOS is designed to assess students' views on the nature and development of science by asking them to draw, describe and explain science over time by metaphorizing it as a way (trail, path). Data analysis is based on the idea that this metaphoric activity lets students express their espoused beliefs about change and development in science while avoiding problems that often accompany the exclusive use of open-ended paper and pencil tests or interviews. The methodological and analytical procedures of TWOS are presented and discussed and its value as a research tool is justified in the context of its application to a group of 29 German 8th grade middle-school students.

Key-words: education, history of science, qualitative data, ideal types, nature of science, epistemological beliefs, metaphors, metaphor analysis

^{*} University of Bremen, Institute of Science Education - Physics Education; ahenke@uni-bremen.de

^{**} University of Hamburg, Faculty of Education - Physics Education; dietmar.hoettecke@uni-hamburg.de

1. BACKGROUND

Science educators all over the world share the vision of promoting students' understanding not just *of* science, but also *about* science (Matthews, 2000; Hodson, 2009). In this respect, conceptualizations of scientific literacy include students' abilities and inclination to reflectively apply scientific process skills like measuring, inferring or communicating, socio-epistemic activities (publication and public accreditation, forming communities and societies, awards and prizes for outstanding research) as well as skills of decision-making in socio-scientific issues (Laugksch, 2000; Kolstø, 2001).

In order to achieve these goals, science educators investigate ways to foster students' adequate beliefs about the nature of science (NOS) (McComas, 1998; Lederman, 2007; Clough & Olson, 2008; Khishfe, 2011) including strategies of purposively integrating the history and philosophy of science (HPS) in science teaching (Matthews, 1989; Stinner et al., 2003; Höttecke; Henke & Rieß, 2012). Empirical studies illustrate that an appropriate use of HPS can indeed promote adequate views about NOS in the above mentioned sense (Solomon; Duveen & Scott, 1992; Allchin, 1997; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Galili & Hazan, 2001; Rudge & Howe, 2004; 2009).

During the recent decades science studies as well as history of science re-explored science as an epistemic endeavor building on human practice and social activity (Collins & Shapin, 1989; Knorr-Cetina, 1999; Hacking, 2004; Daston & Galison, 2007; Rheinberger, 2007), leading to the suggestion of instructional activities for teaching about processes of scientific inquiry and socio-epistemic activities like observation, documentation, validation or justification. They focus on contexts of emergence, consolidation and elaboration of scientific knowledge *and* practices and function as rich resources for teaching science in a historical context (Prestes, 2007; Barth, 2010). In short, they focus on what changes in science, to highlight aspects of NOS along this process.

The success of any approach using historical arguments to foster learning about NOS depends on students' prior beliefs about NOS. Solomon and colleagues recognized that students' "[...] life-world motley of images of scientists and scientific activities had been augmented, but not displaced, by a few stories from history. This had added a raw new epistemological element to their thinking" (Solomon et al., 1994, p. 370)¹.

In order to foster adequate NOS understanding by using HPS in science education various topics can be addressed. Below we present a selection of key questions that address the topic of change and development in science from various perspectives. Questions like these serve as starting point for explicitly and reflectively discussing epistemological, ontological, methodological and social features of scientific research.

¹ It has to be noted, though, that it is quite unlikely to achieve effective learning about NOS with "a few stories from history". Instead, there is a growing body of arguments and evidence in favor of the use of historical case-studies, which include explicit reflective activities on those aspects of NOS (Allchin, 2011; Henke, 2012).

- What exactly do we mean by “change”, “development” or “progress” in science?
- How do refutations, revolutions, paradigm shifts or controversies shape the course of science over time?
- How is change in science related to social, political, economic or technological developments?
- What forms of cooperation or critique are typical for science and how have they changed their role and function over time?
- In what way does science change as a whole; in what way does change happen on the level of individuals, groups, disciplines, paradigms or general assumptions?
- In what way do the methods of science change; in what way is there a general way of doing science?

Students’ views about change and development in science have been predominantly conceptualized as domain-specific epistemological beliefs about changes in scientific knowledge (Hofer, 2006; Priemer, 2006). On the other hand students’ ideas about dynamic aspects of science may (and should) also concern other aspects of change, for example the diversification of its methods and epistemic strategies, transformations in its social and institutional organization, its shifting position within culture and society and its controversial relation to technology (Laudan et al., 1986; Ziman, 2000).

Students may hold a variety of - possibly conflicting - views about aspects of NOS depending on the context in which these aspects appear (Zeidler, Walker, Ackett, & Simmons, 2002). It is therefore plausible for them to also think differently about NOS depending on the time frame in question. As NOS is far from being a fixed set of features independent of time and context, students’ ideas about science cannot be expected to lack a diachronic dimension either.

Science instruction focusing on the above mentioned topics needs to be informed by research on students’ previous beliefs about the diachronic² (occurring over time) dimensions of science. For instance, students’ previous views of the tentativeness of scientific knowledge may vary, if they will either imagine science in the 17th or in the 21st century. Their beliefs may develop differently, if tentativeness will be discussed in a context of contemporary or past science. As an additional consequence, success of historically informed instructional strategies for teaching science will depend on students’ beliefs about and attitudes towards history, especially history of science.

What these beliefs about the diachronic NOS are and how they influence learning about NOS in an historical context is not sufficiently explored until today. There are persisting demands for conveying a process view of science in the classroom on different time scales (Duschl, 1990; Wang & Marsh, 2002). Nevertheless, current instruments for assessing students’ views on NOS neither differentiate these views in the diachronic dimension, nor do they assess students’ views about change other than change in knowledge (Lederman; Wade & Bell, 2002).

² The term “diachronic” is well established in the history of science (Kragh, 1987), referring to the (comparative) analysis of developments over historically relevant intervals of time.

The aim of this paper is to broaden the scope of current assessment of students' beliefs on NOS. Therefore, a new instrument and procedure, called "The Way of Science" (TWOS), will be presented, aiming at assessing students' beliefs on the diachronic nature of science based on metaphorical drawings. This paper explains and discusses the methodological and analytical procedures used in achieving valid results about students' beliefs about the "nature" of change³ in science. More room than usual is given to the procedural aspects of this study in order to maximize the methodological generalizability of the techniques used here to other contexts of research (Payne & Williams, 2005; Metcalfe, 2005; Mayring, 2007). Specifics of the TWOS will be presented and justified in the context of its application to a group of 29 German 8th grade middle-school students.

2. STUDENT-GENERATED DRAWINGS AS RESEARCH TOOLS

Within research on beliefs about NOS, most studies using students' drawings are based in one way or another on the "Draw a Scientist Test" (DAST), founded by the work of Mead and Metraux (1957). In a review of its applications and modifications over the last half-decade Finson (2002) concludes that it still continues to be a useful instrument giving insight into students' ideas about and attitudes towards science. Referring to drawings-based assessments in general, he states that "the combination of drawings with interviews appears to be the most useful of these strategies. [...] These instruments thus far appear to be valid tools regardless of subjects' ages, race, or gender" (Finson, 2002, p. 341).

The use of drawings can also be beneficial for students with low self-esteem in science, who might frame writing assignments as tests of their science content knowledge. Moreover, using student generated drawings combined with subsequent interviews as a data-base may also capture the perspectives of students with low reading or writing abilities. Their written answers might otherwise not be interpreted with a sufficient degree of validity (Glyn & Silk, 1990).

2.1 Methodological Decisions in Drawings-Based Research

To derive additional methodological guidance for constructing and administering TWOS, we consulted textbooks and reviews on the general subject of analyzing children's drawings as well as relevant publications in psychology and educational research. We found that drawing-based instruments generally vary according to their *level of inference* and their *representational mode* (see Figure 1). Cross-cutting methodological decisions concern the use of *inductive* or *deductive* analytical procedures and the objective of *describing* a drawing's content or *explaining* its intrapersonal origins (King; Keohane & Verba, 1994; Thomas & Jolley, 1998; Reiß, 2012).

³ Research concerning "change" in science has a long empirical as well as analytical tradition (see for example Niiniluoto, 1980; Laudan et al. 1986; Pera, 1994). The conception of change used here allows for a broad range of students' ideas; from neutral descriptions of differences between two points in time to axiological statements about progress in science based on normative criteria for success. Follow-up interviews served to clear up the type of statement; they were excluded from the analysis, where a distinction between neutral and axiological statements would lead to a fundamentally different interpretation.

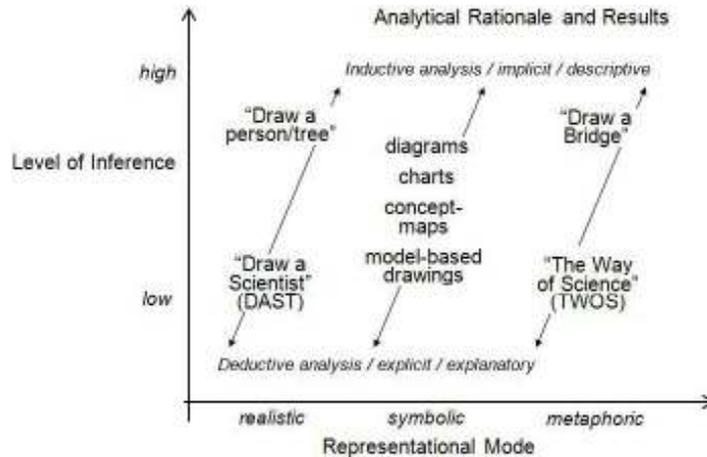


Fig. 1: Dimensions of methodological decisions in drawings-based research.

1) Level of inference

The level of inference applied indicates the size of the inferential step between a drawing's surface-level content and its interpretation by a researcher. The level of inference is determined by the research questions in focus, by the methodology of interpretation and by the amount of theoretical and explanatory vocabulary introduced during analysis (King; Keohane & Verba, 1994):

- a) Studies showing a *high* level of inference assess psychological traits indirectly. A researcher might for instance infer from the choice of color or the general composition of a drawing that a child might hold certain attitudes towards certain objects or persons on its drawing. There is a strong tendency for deductively classifying characteristics of a drawing into abstract, explanatory categories based on the theoretical concepts in focus. Validity in this case is usually achieved through the use of pre-established checklists, clear-cut tutorials for raters, and by theoretical argumentation.
- b) Studies showing a *low* level of inference employ rather inductive research designs. Certain elements of a drawing will be compared, grouped and arranged in order to construct a general system of descriptive classification. The generation of categories is often based on the application of the methodology of grounded theory. Categories usually are arranged into checklists, which might guide further data analysis with a higher level of inference.
- c) The level of inference applied depends on a researcher's choice of either an explicit or an implicit mode of data analysis. An example: To assess students' ideas about particle-physicists' every-day life and work, the students might be asked to draw a visual diary of such a physicist. It will contain certain objects and display specific activities, which indicate the students' ideas on this issue. Data-analysis might then compare, group and classify these objects and activities *explicitly* visible in a drawing (low level of inference). *Implicit* characteristics, on the other hand, may point out

latent traits. In this case objects or activities displayed might be interpreted as “pleasant” or “unpleasant” based on theoretical considerations, allowing for hypotheses about students’ attitudes towards science (high level of inference).

2) Representational mode

Research using drawings as data usually elicit three different kinds of representational modes (Kaufmann, 1980; Leisen, 1998):

a) *Realistic* drawings, where the elements of the drawing are depictions of real-world situations, objects and their relations.

Examples: The Draw a Scientist Test (DAST; Chambers, 1983) for example, prompts students to produce realistic, lifelike representations of scientists and their workplace. The drawings may also contain allusive elements, hinting at immaterial characteristics of objects or persons (e.g. a scientist’s messy clothes allude to his/her social maladjustment). In combination with the "Draw a Scientist Test Checklist" (DAST-C; Finson; Beaver & Cramond, 1995) consisting mainly of descriptive criteria, the level of inference in the DAST is generally low. The students’ written or oral explanations for their drawings are analyzed explicitly to the effect that the interpretation is based on the literal meaning of elements of students' drawings. The “Draw a Person” test used in psychological research is an example for a more implicit framework. Several scoring systems have been developed serving different analytical purposes (Abreu, 2006) like inferences in childhood traumata, developmental retardation (Ables, 1971) or students’ attitudes towards science and technology (Zeyer & Kägi, 2010).

b) *Symbolic* drawings, where diagrammatic, iconic or semantic elements illustrate classificatory systems, models, concepts and their relationships.

Example: Here we often find research on students’ conceptions (Ratcliffe, 1995) and the structure of their conceptual knowledge (Edwards & Fraser, 1983; Weber & Schuhmann, 2000). Benson, Wittrock and Baur (1993) have explored students’ various ideas on the particulate nature of matter, asking students to draw a volume of gas using a particle model. Concept mapping has been used mainly for advancing, but also for assessing semantic structural knowledge about the nature of science (Ruiz-Primo & Shavelson, 1996; Hand, Lawrence & Yore, 1999).

c) *Metaphor-based* drawings, where the elements of the drawing “refer to a set of concrete relationships in one situation for the purpose of facilitating the recognition of an analogous set of relations in another situation” (Beck et al., 1978, p. 83).

Example: The “Draw-a-Bridge”-test for adolescents and adults is a metaphorical drawing instrument with a high level of inference. The psycho-emotional status of a person is inferred by exploring their drawings’ latent symbolisms and metaphoric meanings *post-hoc*, often without additional explanations from the person and sometimes without her/him being aware of the metaphoric setting. Communicative validation of the findings is therefore often not feasible (Hays & Lyons, 1981).

In contrast, during the TWOS procedure proposed in this paper the students are fully aware that the elements of their drawings of ways project their meaning onto the domain of science. Figure 2 shows a section of typical metaphorical drawing produced

by applying TWOS. Here, science and its development is symbolized by a rocky, curvy trail winding its way over hills, around and above lakes, splitting and merging and finally disappearing into a dark tunnel.

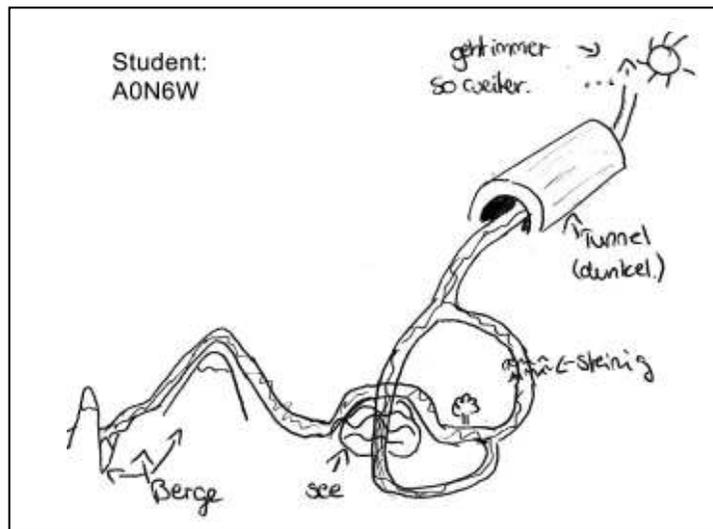


Fig. 2: Section of a student's drawing about the way of science.

2.2 Using Metaphor-Based Drawings

Metaphors are widely used as tools for social, psychological and educational research. Moser (1999), for instance, uses the "way" metaphor to determine beliefs about the transition from university to work. Muscari (1988) stresses the productive nature of metaphors for the expression of espoused beliefs, since the "[...] unconventional semantics of metaphorical language executes certain functions which literal language is unable to perform" (Muscari, 1988, p. 423). Metaphors facilitate the production of relations of meaning between tangible objects or events ("source") and abstract conceptions or notions ("target"). Moser (2000, pars. 11-16) states some generally accepted characteristics of metaphors, which may guide their suitable use in educational research:

- (1) *Metaphors influence information processing*, since different metaphors lead to different ways of interpreting new experiences.
- (2) *Metaphors provide a reliable and accessible externalization of tacit knowledge*, since they have been used to generate valid linguistic or iconic representations of knowledge, which was otherwise not accessible.
- (3) *Metaphors are holistic representations of understanding and knowledge*, since they involve distributed mental processing of content knowledge, attitudes and beliefs, allowing for more thorough expression of one's views about a target domain.
- (4) *Conventional metaphors of everyday life are examples of automated action* - they tend to circumvent strategies of self-presentation and reflect subjective theories likely to guide one's actions.

(5) *Metaphors reflect social and cultural processes of understanding*, since a limited amount of source domains convey understandings of a specific target. Different individuals/groups prefer different source domains.

Metaphors facilitate the analysis of students' or teachers' conceptions about their own knowledge (Seferoglu; Korkmazgil & Ölçü, 2009), about their views on learning and their metacognitive processes (Thomas, 2006) as well as their general perspectives on teaching (Ritchie & Russell, 1991). The development of specific beliefs about NOS might also be influenced by the unintentional use of metaphors when teachers or students talk about science in the classroom (Schwartz, 2007).

Metaphorical drawings can be a beneficial tool in the field of NOS research, since they depend less on students' ability to verbalize their espoused beliefs. Written or oral assessments typically run into problems due to students' underdeveloped semantic repertoires and a lack of experiences with professional science (Allchin, 2011). The process of metaphorization allows students to express emotions related to the target domain without the need for ad-hoc verbalization of their affective states (Moser, 2000). Thus, the use of metaphors as a research tool takes into account that students' beliefs cannot be reduced to purely cognitive constructs (Rokeach, 1972; Pajares, 1992; Schommer, 1994). Finally, Beck *et al.* (1978) point out the specific benefits of metaphors in allowing for semantic as well as analogical reasoning. While the former is typical for written and oral assessments, the latter is close to everyday reasoning (Vosniadou, 1989). Therefore, the assembly of metaphorical drawings with written or oral questionnaires like TWOS covers a wide range of different kinds of reasoning.

We suppose that students produce each element of a metaphorical drawing intentionally and meaningfully. The drawing process during administration of TWOS is planned and regulated based on the students' intentions to coherently depict change and development in science by reifying it into a way or path. We assume metaphors to be coherent systems of conceptual analogies (Kövecses, 2002), which presupposes a model of intentional metaphorization as shown in figure 3. For the use of TWOS we consider metaphorical drawings to be influenced by the students' beliefs about the diachronic nature of science by shaping the choice and specific arrangement of a way or path in the drawing. The student uses the tangible elements in his or her drawing as a source domain for the generation of meanings. He or she then relates them to the meanings of abstract objects, concepts or notions in the target domain, which is science. Finally, a web of mutual relations of meanings emerges between a concrete source domain and an abstract target domain. Without metaphorization, meanings related to the abstract target domain might be barely accessible or expressible by the student. Thus, metaphors are used by the students as tools for the creation, signification and communication of abstract and otherwise hardly accessible meanings. The model pictured in fig. 3 guides administration and analysis aiming at insights about students' beliefs about diachronic nature of science.

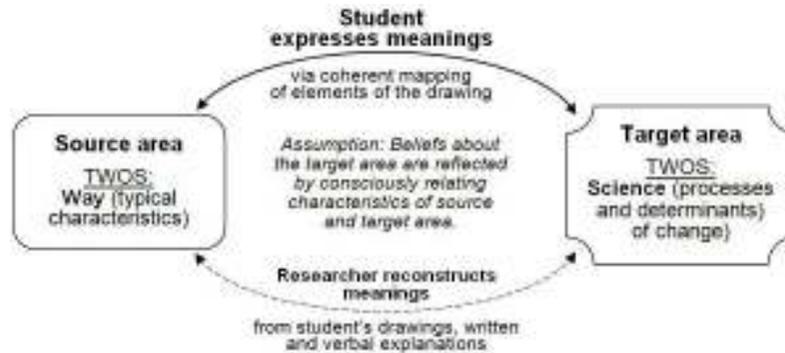


Fig. 3: Source-target model of intentional metaphorization.

Based on this model, some methodological criteria for the choice of appropriate metaphors can be established:

- a) The source domain should be familiar to all students, culturally fair and developmentally as well as cognitively appropriate.
- b) The source domain should be fruitful in order to enable multiple and varying relations between the two systems of meaning.
- c) The students should not be too emotionally involved with the source domain, in order to prevent any bias carrying over to the target domain.

If students for instance were asked to draw scientific knowledge (target domain) as a building (source domain), the level of emotional involvement might be sufficient. If they were asked instead to draw scientific knowledge as a school building, then the source domain might lead to the production of emotions and ideas which will be transferred to the target domain without being sufficiently rooted there.

Analyses of metaphorical drawings are built upon the assumption that culturally shared metaphors expressed through drawings reflect the drawers' cognitive and emotional states (Berlin, Olson, Cano, & Engel, 1991). Although Lakoff (1993) and others provided cogent arguments supporting this assumption, the level of inference is rather high. Any valid interpretation of a metaphorical drawing requires that researchers and participants have access to the same pool of metaphors, which are rooted in the culture they both share.

3. ANALYSIS OF STUDENTS' DRAWINGS OF "THE WAY OF SCIENCE"

3.1 Sample and Procedure

The TWOS instrument was administered to 29 German middle school students at the age of 14-15, attending the 8th grade of a German "Gymnasium" (comparable to secondary school). Only 4 of the students were male. The participants took a significant part of their non-science classes in English ("bilingual classes") hinting at above average language abilities.

In order to validate the TWOS instrument two datasets were obtained from the same group of students. One data set was gathered before and one after an eight-week teaching

intervention. The intervention was based on three different historical case studies⁴ developed in the course of the HIPST-Project (Höttecke, Henke & Rieß, 2012) and presented to the students during their regular physics classes. Thus, the assumption was justified, that TWOS should indicate any change in students' ideas about the diachronic NOS. The teaching intervention distinguished itself by the following aspects:

- teaching and learning science with its history and philosophy
- experiments with replicas of historical instruments
- explicit-reflective learning opportunities on various aspects of NOS (Henke, Höttecke & Rieß, 2009)

Students had no previous experience with historically informed science teaching beyond those expected to be part of “traditional” science lessons (e.g. anecdotes or short outlines of scientists' biographies). It was ensured that the students' history classes did not refer explicitly to science or science related issues directly before the first and until the final administration of TWOS. Pre- and post-intervention data were analyzed independently in order to prevent mutual influence. Intervention effects were not part of the analysis. For later stages of the analysis (see below) datasets were merged and membership to pre- or post-dataset was anonymized.

Structure and administration of TWOS is straightforward. A short questionnaire is administered first. There the students were asked to draw their idea of “the way of science” in a blank space of given size, giving detailed written comments explaining their drawing on the next page. A second question focuses on students' epistemological beliefs, asking *if, how* and *why* scientific knowledge may change. Responses to this context-free question may expose possible inconsistencies between students' beliefs about the diachronic NOS and their beliefs about knowledge change in general.

Development and testing of various guiding statements for the drawings activity resulted in the following instruction: “*Think of science as a way, or trail, starting long ago. Please, draw this way!*” Trials with students of various age groups indicated several misunderstandings of this simple stimulus. The students then were drawing:

- a picture displaying a logical model of research activity without any relation to historical time, e.g. idea → experiment → result
- images of themselves as learners at school
- scientists, laboratories, lab materials indicating research work-in-progress
- simple “knowledge vs. time” diagrams

⁴ The case studies used in the intervention represent the first three episodes of the thematic set “History of Electricity” (<http://hipstwiki.wetpaint.com/page/history+of+electricity>). Comprehensive information on the case studies' historical contexts, learning goals and aspects of NOS can be found on the homepage of the HIPST project (www.hipst.eu).

To ensure a better understanding of the activity as producing metaphors, we added a second stimulus: *“The way of science may be narrow or broad, steep or flat, even or uneven ... or everything else that fits your ideas about the way of science through time”*.

After completing the questionnaire, a trained interviewer elicits in-depth explanation of the students’ drawings, omitting guiding comments or direct questions. The second step focuses on clearing up the meaning of elements of the drawing not explained in the students’ written and oral comments. The interviewer is instructed to use a restricted set of non-directive questions like *“What do you mean by ...?”* or *“Could you please talk a bit more about ...”*. The interviewer had to memorize and use a list of expressions expected to be used by the students during the interview (c.f. Carey *et al.*, 1989). Whenever a student used words like “progress”, “change”, “problems”, “success” or “influence”, the interviewer had ask for clarification.

Since students tend to reproduce commonly held stereotypic views in a first drawing, but may show more elaborated views when asked for a second drawing (Finson, 2002), students are asked at the end of the interview, if they would like to add, remove or change any of the elements in their drawings. This question also served to control for learning processes that may have been induced by the interview itself or due to the fact that the extended use of a single metaphor allowed for generating new insights (Evans & Evans, 1989).

TWOS data can be analyzed according to a general qualitative methodology as depicted in figure 4. The structure is inspired by Galili’s and Hazan’s (2001) framework for reconstructing students’ conceptions about NOS. Although this procedure was developed for and in the context of TWOS it can be applied to other metaphor-based research efforts.

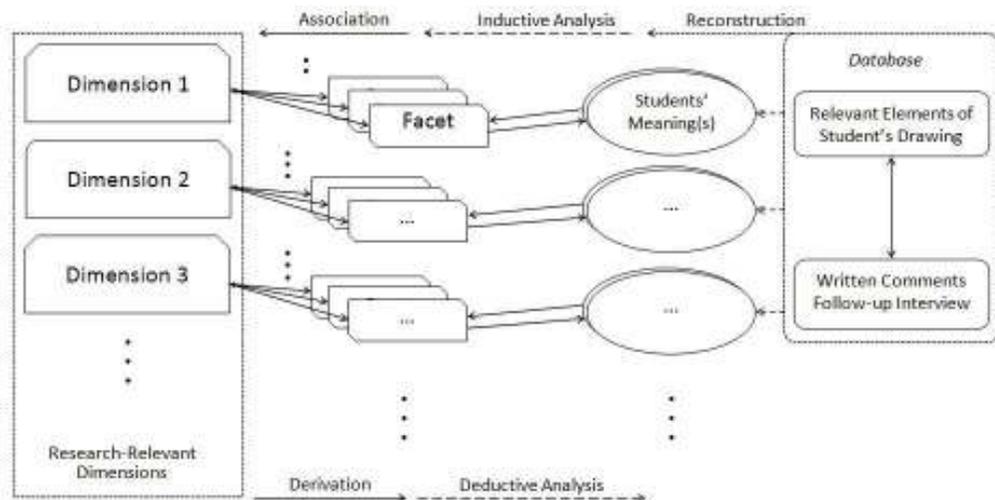


Fig. 4. Framework for inductive-deductive reconstruction of students' meanings.

3.2 Metaphor-Analysis

In a first step, researchers hermeneutically reconstruct the symbolic meanings of a student's metaphorical drawings (see fig. 3). Each element of the drawing will continually be interpreted and re-interpreted in isolation as well as in relation to each other. Valid and adequate reconstructions of students' ideas expressed through the drawings can only be established by the analysis of additional data sources which are written and/or oral explanations as well as follow-up interviews (Maxwell, 1992). The level of inference can be lowered, if general properties of the drawings like a colored background or the level of sophistication of a drawing will be excluded from data analysis. The analysis of a drawing focuses any element a student has addressed explicitly in their written explanations or during the follow-up interview.

Reconstruction has to take into account the contingency, context-dependency and everyday-character of any object in the drawing (stone, hills, lakes, road signs etc.). Each object used in a student's drawing is embedded in his or her broader conceptual metaphorical framework. A stone for instance might convey several different meanings, which depend on the structure and content of the drawing as a whole.

The result is an inventory of elements of a drawing, which contains the ideas about science signified by each element. This approach is similar to but more tangible than the inventories proposed by Lakoff and Johnson (1980). Table 1 illustrates the reconstruction of students' metaphors in TWOS on the basis of the drawing depicted in figure 2. The short paragraph in the upper line of table 1 presents paraphrased interview-data. The left column shows the inventory of metaphor-relevant elements of that drawing, the right shows the corresponding meanings inferred from on the students' explanations.

The use of an object like a stone in a drawing is highly idiosyncratic. In figure 2 the hills and stones for example signify obstacles occurring during research. Similar elements in another student's drawing might have been used to express alternative ideas like a high level of research activity or newly occurring research questions. During data analyses, any researcher has to take into account, that each element of a drawing might signify a multitude of ideas. The assignment of different meanings to the same element in a drawing is usually triggered by follow-up interviews, when students have the opportunity to relate a variety of ideas about science to the elements of their drawings. During an interview, the metaphorical meaning of an element may shift or multiply, if referred to from different angles.

Table 1: Inventory of metaphorical elements of a students' drawing of TWOS and their inferred meanings

<u>Students' description of drawing (see fig. 2; condensed from written and oral explanations)</u>	
<i>Scientists of the past had to master typical problems of science. When approaching a difficulty on their research some of them decide to avoid this difficulty by following an easier path avoiding the question, while a single scientist decided to solve this problem once and for all. The other scientists do not behave like him leading to serious problems in their research afterwards. Close to our present, they choose to collaborate, since they decided to explore unknown territory. The way won't end, since they will get new solutions that lead to new questions.</i>	
<u>Elements</u>	<u>Reconstructed Meanings</u>
<i>path (single, structured)</i>	science as research activity (collective experience of individual scientists)
<i>hills/mountains (recurring)</i>	externally inflicted obstacles (inadequate scientific instruments, procedures)
<i>stones (on the path)</i>	internally inflicted obstacles (lack of research experience)
<i>lake (interrupting path)</i>	research question/problem (difficult, posing itself)
<i>crutch (splitting path)</i>	scientists departing from collective enterprise (methodological decision)
<i>circumventing the lake</i>	research alternative (provides final answer to question, opportunistic, shallow)
<i>passing the lake</i>	research alternative (provides final answer to question, idealistic, deep)
<i>path (narrow, separated)</i>	individual scientist (resourceful, autonomous)
<i>crutch (merging)</i>	scientists cooperating (combining experiences and collective knowledge)
<i>tunnel (dark, immersing path)</i>	future research (no previous ideas, process and results unpredictable)
<i>sun (shining on tunnel-exit)</i>	solved research questions (adding to as well as replacing previous results)
<i>points of ellipsis</i>	scientific activity as depicted will go on indefinitely (successful problem-solving)

3.3 Qualitative Content Analysis

The second step of data analysis starts from a set of broad, theoretically derived dimensions. The dimensions should be capable of describing, categorizing and differentiating students' views about the diachronic nature of science.

1. Epistemological beliefs about changes in scientific knowledge and about its ontological character (Hofer, 2006; Priemer, 2006)
2. Beliefs about factors determining change and development in science (Borries; Angvik & Körber, 1997)
3. Narrative structures underlying students' descriptions and explanations of their way of science (Schreiber, 1999; Pandel, 2002)
4. Beliefs about the socio-epistemic structure of science (Driver; Leach; Millar & Scott, 1996, Longino, 2013) reflected in their metaphorization of scientific change

All dimensions were characterized and differentiated by its facets, which are suitable for indicating students' beliefs from a deductive and theory-driven perspective. Such facets might for instance represent different statements about scientific change. While the dimensions have framed and guided our research perspectives from the very beginning, the facets need to be adapted to the contingencies of students' meaning-making. This requirement led to choosing the methodology of qualitative content analysis, which, next to deductive classification of students' assertions, allowed for inductive generation of new, empirically relevant, facets (Mayring, 2010).

To give an example: The two facets of the dimension *epistemological beliefs*, "*scientific knowledge grows by recurring refutations/modifications of incorrect ideas*" and "*scientific knowledge grows continuously adding-up new and correct ideas*", were deduced from previous research. Two other facets, "*scientific ideas replace one another in a linear succession*" and "*competing scientific ideas exist in parallel over a period of time*" were developed inductively from the data.

Table 2 presents the dimensions of analysis and their facets in their final form, resulting from extensively piloting the TWOS instrument. Nevertheless, future studies using the TWOS procedure may add or modify the dimensions according to their specific research agendas and theoretical perspectives. The employed dimensions are described in a later section, where they are illustrated by a selection of students' responses.

Table 2: Dimensions of analyzing students' views about the diachronic NOS.

Dimension	Facets	Data sources
1. Epistemological beliefs	<i>knowledge accumulating (additive)</i> <i>knowledge accumulating (mending)</i> <i>refutation as basic mechanism (fruitful)</i> <i>refutation as dead end (error)</i>	drawings, written explanations, follow-up interviews, includes responses to additional context-free question: "knowledge change"
Dynamics of knowledge change	<i>science characterized by competing ideas</i> <i>science as succession of ideas</i>	
Ontological character of knowledge	<i>science as uncovering nature's secrets</i> <i>science as inference for best explanation</i> <i>knowledge about nature is finite</i> <i>knowledge about nature is boundless</i> <i>science can access true knowledge about nature</i> <i>true knowledge about nature is inaccessible</i> <i>scientific knowledge as concepts, model & ideas</i> <i>scientific knowledge as technological artifacts</i>	
2. Factors determining scientific change	Factors, their type of influence, location on time-scale & evolution through time	drawings, follow-up interviews
3. Narrative structure of scientific change	Traditional, genetic, circular, teleological & organic patterns of "talking history"	drawings, follow-up interviews
4. Metaphorization of scientific change	<i>science as collective entity</i> <i>science as evolving network</i>	drawings, written explanations, follow-up interviews

The trustworthiness of TWOS data analysis rests on three pillars:

- (1) Theoretical relevance and applicability of perspectives for deductive classification
- (2) Validity and internal generalizability of inductively derived facets
- (3) Intersubjective reliability of meanings reconstructed from students' metaphors and classification of students' views to TWOS dimensions and facets

Regarding the validity of procedure and results of the study presented in this paper, aspects (1) & (2) of TWOS data analysis were negotiated between three researchers/experts in the field of NOS and students' beliefs as well as history education (two of them authors of this paper). Aspect (3) was ensured by independent classification of a sample of TWOS data and facets, resulting in good inter-coder agreement (for details, see Henke & Höttecke, 2013).

3.4 Construction of Ideal Types

Analysis of students' beliefs about the diachronic NOS has to meet conflicting requirements. On the one hand, the analysis strives for the identification of broad, stable, and inter-individual patterns of beliefs like scientism or progressivism. On the other hand, data analysis has to take into account that a student's meaning-making is based on his or her individual – sometimes even unique – preference for specific drawing-elements, symbols and their relation to each other. Research based on qualitative data is commonly challenged by this dilemma (Kelle, 2005). A method with a long track record in achieving dialectical agreement between the two opposing requirements is the construction of "ideal types" based on qualitative data analysis (Kluge, 2000). Solomon and her colleagues (1994), for instance, preferred such an approach has been, resulting in a typology of students' beliefs about the different roles of scientists.

Consequently, the final step of TWOS data analysis aims at constructing a typology of students' beliefs about the diachronic NOS. So-called "ideal types" provide heuristic tools for structuring processes of meaning-making and human behavior. An ideal-type presents a second-order construct based on previous results of data analysis by transforming individual beliefs, meanings and decisions into a selection of a few expressive, abstract categories (Hearn, 1975; Psathas, 2005; Weber, 2009). So far, the students' beliefs are expressed through individual assignment of various facets of theoretical dimensions. In the context of this study, an ideal-type therefore represents a holistic, empirically grounded and logically coherent combination of students' beliefs across all of the dimensions covered by TWOS, therefore providing a useful tool for an overall understanding of their perspectives on the diachronic NOS.

The process of reconstructing an ideal type from students' beliefs is best illustrated by the following example: The process starts with an individual student, who, for instance, uses a *genetic narrative structure* and tends to regard science as a *collective enterprise*. In the next step one identifies students with a similar pattern and investigates, if their ideas regarding other dimensions show some form of logical or empirical consistency. It appears that two further ideas resonate with the pre-established set of beliefs: Scientists are aiming at *disclosing nature's secrets* and thereby contributing to a *successively growing body of true*

scientific knowledge. In the next step one might find that students holding either one or the other of these beliefs also tend to see change in science caused either by scientists struggling with *internal inadequacies of science* (e.g. inadequate instrumentation) or by *external obstacles* (e.g. lack of societal recognition). At this point one has to check and re-check the previous interpretations, in order to assure that these last findings really hint at the emergence of two distinct sets of beliefs about the diachronic NOS. If this is the case, the next round of reconstruction starts assuming the existence of these two ideal types.

Progressing in such a way, the number of sets of identified beliefs is continually growing. Although it may seem this way, the development of ideal types is not a result of a linear step-by-step procedure. Instead, this interpretative process is circular and iterative. An ideal-type is the result of a process that aims at maximizing *internal consistency* while at the same time maximizing its *external discrimination* against all other types already established from the same data set. An essential part of the transformation process relies on *emphasizing* and *idealizing* the types *beyond* the sheer representation of empirical tendencies. In this respect ideal-types differ from real- or proto-types. As a result, an individual student's ideas about change and development in science do not need to fit exactly to any of the ideal-types presented further below.

All interpretations and idealizations were finally discussed in order to maximize agreement among researchers. Disagreement or inconsistencies were resolved either by revising of the internal belief-structure of an ideal-type, by changing its emphasis or by partially re-analyzing the underlying data.

4. RESULTS

In this section, selected results from an application of TWOS to the sample described above will be presented. Due to the idiosyncrasy of the elements of students' drawings used for symbolizing aspects of change in science, their views about the diachronic nature of science will be illustrated mainly through students' written explanations or transcripts⁵ of interviews. The results are by no means exhaustive, but shall serve the purpose of illustrating the analytical fruitfulness of the TWOS instrument.

4.1 Epistemological beliefs and beliefs about the ontological character of scientific knowledge

This dimension represents two common aspects of NOS, students' epistemological beliefs about the development of scientific knowledge and students' beliefs about the ontological character of scientific knowledge (Carey & Smith, 1993; Schommer-Aikens, 2002).

About 80% of students use their way to express their ideas of change in science. If the students explain their drawings, most of them directly relate theoretical scientific knowledge to the entities of nature it explains. This behavior indicates an entity-realist position (Cartwright, 1983). Implicitly assuming a finite number of different natural entities, students

⁵ Each passage was translated from German into English by the first author. Each code at the beginning of a passage indicates a certain student.

express their belief in a finite, predetermined amount of scientific knowledge to be “found out” over the course of time. Oftentimes these students highlight significant scientific achievements in the past:

A6R5W: “[...] and then there came the great insights and found out nearly everything of what we know today. So today we cannot find out so much more.”

In accordance with Messick’s (1989) statement that “One must be an ontological realist in order to be an epistemological fallibilist” (p. 26), many students who regard nature as directly accessible through science, also justify the supposedly never-ending knowledge generation of science by its self-propagating and self-correcting character:

A6E5W: “Scientific knowledge will change a lot in the future. And this change will never stop, since scientists will not stop researching, discovering, making new theories and explaining things in another way than how people thought it was right before.”

Most interestingly, the TWOS procedure allows for students to express time-frame dependent perspectives on the dynamics of knowledge change in science: 7% of the students in our study explicitly argue for the fact, that scientific knowledge got routinely refuted and/or replaced in the past, while contemporary knowledge now needs only minor adjustments with new insights being added. This shows a tendency for attaching different epistemological beliefs to contextually different types of scientific knowledge, which is a recurring theme throughout the data:

When explaining their *drawings* about 78% of the students present scientific knowledge as developing mainly cumulative (vs. 22% by refutations). In their responses to the additional, *context-free* interview question on knowledge change, however, this relation changes to 54% cumulative vs. 46% by refutations. It seems that in the context of this metaphorical, drawing-based assessment, students tend to show less adequate beliefs about the nature of scientific knowledge than in context-free assessments bearing no connection with history of and change in science.

4.2 Factors influencing change and development in science

The rationale for this dimension was adapted and expanded from a quantitative assessment of almost 20,000 European students’ historical awareness. Borries and colleagues (1997) asked to rate a given set of factors according to their perceived potential for influencing the course of history. In TWOS the factors influencing change and development in science were inductively derived from data. Table 3 summarizes prominent results. For the sake of brevity only factors symbolized directly in the drawings and mentioned by more than 15% of all students are reported here. Also indicated are students’ beliefs about the hindering or helping character of each factor as well as the location and evolution of its influence in time.

Table 3: Factors relevant for scientific change as expressed in students' drawings.

Factor	Location			Evolution	
	past	present	enduring/ stable	rising	waning
<i>Religion / Mysticism</i>	UU	U	U	-	UU
<i>Societal recognition of science</i>	U	-	-	S	-
<i>Experimental failures and problems</i>	UU	-	-	-	U
<i>Availability of technological artifacts</i>	UU	-	S	SS	UU
<i>Av. of advanced instruments/ methods</i>	U	S	S	SS	-
<i>Building on previous knowledge</i>	UU	SS	S	-	-
<i>Specialization, emerging of disciplines</i>	-	S	-	S	-
<i>Great achievements</i>	S	-	-	-	S
<i>Curiosity as main motive</i>	-	-	S	-	-

Type of influence: *helping* (S) *hindering* (U)
Relative frequency per row: < 5% (-) ≥ 15% (S,U) ≥ 25% (SS,UU)

In total, students view supportive factors as slightly dominating, regarding their influence on science as stable over time. According to their idea, the relevance of those factors, which have hindered the development of science in the past, is vanishing in the present. Supportive factors show the opposite, but less distinct trend. Their role is regarded as increasing from the past up to the present.

The types of factors and the character assigned to them indicate a mixture of chronological snobbery and presentism⁶. Students also tend to ignore, that features of contemporary science are *co-produced* along with social and cultural processes (Jasanoff, 2004). Another prominent view exposed by TWOS is students' technology-centered optimism regarding science. Similar to research about students' ideas on history in general (Borries, Angvik, & Körber, 1997), students in our study assume positive change in science to be indicated almost exclusively by the use, production and improvement of technological artifacts as tools and products of science. Ecological, ethical or social factors were neglected as indicators of change. On the other hand, students do indeed positively attribute ecological, ethical and social motives to scientific research (Driver et al., 1996). It seems therefore that students tend to evaluate the aims of science by different standards than its successes.

4.3 Narrative Structures

Due to the students' fragmented historical content knowledge their "talking history" in TWOS needs to be interpreted as a complex process of sense-making. They develop ad-hoc

⁶ *Chronological snobbery* refers to the fallacy of equaling "later" and "better" (Fischer, 1970; Barfield, 1967). In the context of TWOS, the notion of *presentism* refers to the fallacy of projecting features of contemporary science into the past. Students then base their explanations on the assumption, that those features were deliberately invented in the past and survived without any intermittent adaption.

ideas on what and why something might have happened in the past, while keeping a steady footing in the present. Rösen (1982) pointed out that these diachronic narratives about historical events from laypersons' and especially students' do not follow traditional paths of causality. Instead, the narrators try to construct a linear temporal sequence, afforded by a high amount of selectivity. Therefore, only include events appear in their narratives that link to other events already mentioned or to topics regarded as important based on implicit assumptions and attitudes (Schreiber et al., 2007). As a result, five basic types of narrative structures can be found underlying non-experts' narratives about history: *traditional*, *genetic*, *teleological*, *organic* and *circular* patterns (Pandel, 1995). The holistic nature of these patterns is captured by their graphical representations in figure 5.

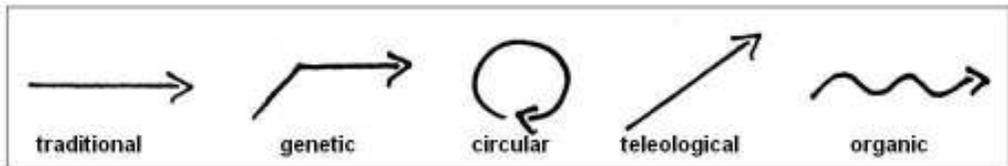


Fig. 5: Graphical representations of non-experts' narrative structures in talking about historical developments.

In TWOS, where students explain diachronic aspects of science, the sub-surface patterns of their narratives⁷ therefore indicate their attitudes toward (past) science and reflect personal ontological and epistemological assumptions. During analysis, students' explanations are categorized according to the five types of narrative structures mentioned above, serving to expose associated ideas about the nature of scientific change.

It has to be noted, that there is no logical necessity for the students' drawings themselves to resemble the semiotic visualizations of fig. 5. Also, the students do not need to employ a single narrative structure consistently. Analysis instead shows that they express different ideas about the development of science by nesting and sequencing various narrative structures.

The following paragraphs illustrate each narrative structure occurring in our study with the most frequent ideas about science associated with it.

Traditional: Science is characterized by a lack of qualitative internal changes or factors influencing its course. Most students however do not wish to express the idea that research activity stops, stagnates or knowledge production ceases. Instead, they indicate that scientific activity did and will follow the same pattern over time. It has to be noted, that a small minority of these students' first referred to *school* science as being monotonous and, after clearing that up during the interview, did not essentially change their way to have it represent

⁷ The term "narrative" does not imply a specific type of text produced by students during data collection using a certain mode of narration. Instead, we refer to the broader meaning of "narrative" as being a (e.g. textual) product of intentionally reporting a collection or sequence of events, exhibiting (e.g. causal) interdependence, internal coherence, relation to a common topic and chronological order (Stone, 1979). The students' drawings accompanied by their written explanations and interview transcripts provide the texts to be analyzed.

professional science. This supports the hypothesis, that students' negative (positive) attitudes towards school science shape their views about the diachronic nature of science as monotonous (diverse).

Genetic: A genetic structure characterizes change in science as occurring only, if a certain threshold or barrier has been overcome.

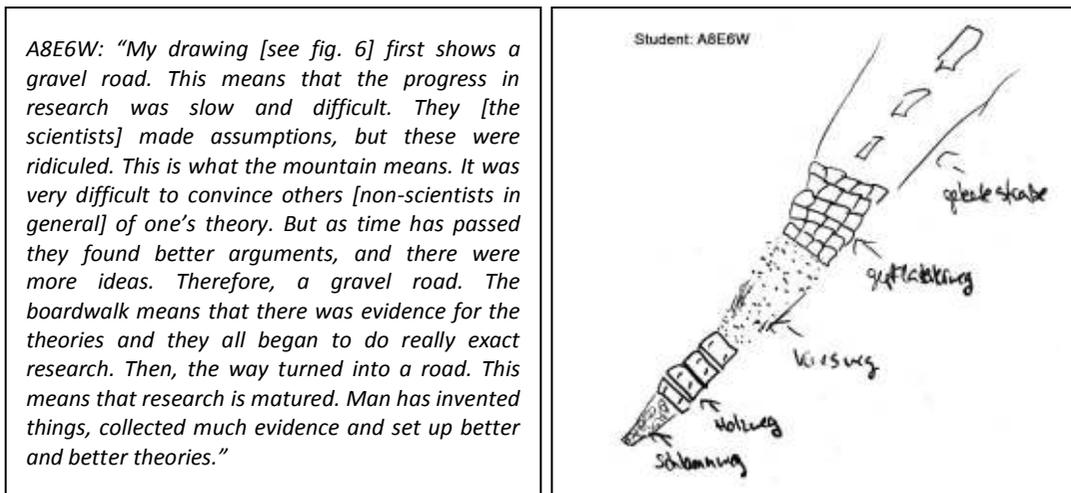


Fig. 6: Students' drawing coinciding with genetic narrative structure.

This student expresses the view that scientists had to confront external (nonscientific) criticism by sampling good evidence and thinking hard. There is no causality or teleology implied; the changes are only judged as necessary in retrospect. Overcoming a barrier leaves science with a good stock of exact conceptual knowledge and methods, enabling scientists to keep on working until science reaches another obstacle. According to a genetic narration science is maturing internally (evidence, arguments, methods), while reacting to external hindrances (disbelief, lack of support etc.).

Circular: This narrative structure focuses on the idea that historical development follows a circular pattern. Even if science is characterized by extensive qualitative changes and apparent progress, the final situation does somewhat resemble the starting point.

E6G6M: "My way looks like this because in the beginning it was certainly very hard to find out things in science. Then it became easier, since there was knowledge to build upon. Today it gets harder again, since we try to find out newer and more astonishing things."

In TWOS, this structure is mostly attributed to scientific change on a large scale. Students then are likening their ideas of the historical beginnings of science to the present.

Teleological: These narrations show a clear goal orientation of scientific change. The propositions of students in our study can be transformed into the form '...happened/changed,

in order to ...':

E7E6W: "Change will go on, since there is still not everything explained what happens in nature."

This narrative structure is characterized by a strictly teleological interpretation of scientists' actions: Change occurs due to scientists, who are pursuing goals either on a small scale (solving a practical problem at hand) or on a large scale (finalizing the existing body of knowledge):

A8N6W: "There will always be research and the knowledge will change again and again, since scientists try to find errors and fill out the gaps."

We could not observe any students, who alluded to any technological or ecological *telos*. This result is hardly surprising, since TWOS does not prompt the students directly to address the goals and motives for engaging in science. Thus, the students focused stronger on knowledge development in general and factors influencing scientific change.

Organic: This structure emphasizes recurring patterns in the history of science, highlighting students' ideas about the internal logic of "normal science". Figure 7 indicates, that students' drawings reflect this narrative structure pretty well. The patterns symbolize ups and downs in productivity, sequences of problem posing, problem solving and ingenious discoveries. They are regarded to occur in quasi-regular intervals. This internal logic is perceived as being natural and even law-like, although facilitated by scientists' participation.

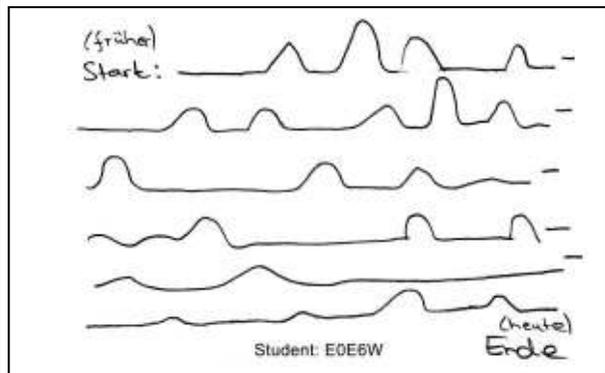


Fig. 7: Students' drawing reflecting an organic narrative structure.

4.4 Metaphorization

The dimension "metaphorization" captures a more or less consistent use of a set of elements in a student's drawing, which is in accordance with his or her views about the socio-epistemic structure of science. A consistent use of the metaphor "science as a way" means that students use certain elements in their drawings, which directly represent sets of beliefs about change of science in time. The source domain (way) then meets the target domain (time) quite directly.

Data analysis for this dimension is mainly inductive and starts from the inventories of metaphorical elements (see table 1) and students' written and oral explanations. Two distinct facets emerged and proved internally valid: (1) *science as collective entity* and (2) *science as an evolving network*.

The drawing in fig. 8 illustrates the first facet. According to this student's explanations, he sees science as a holistic activity, affected by external or internal perturbations as a whole. In this case students are drawing the development of science over time as a single line or path, not using elements like branches, crossings, dead ends or parallel tracks. Their views about science underestimate the role of concurrent research on similar topics, the existence of controversies and processes of internal differentiation (e.g. intermittent thematic collaboration, the development of sub-disciplines, communities and the like). There is no significant preference for a specific narrative structure. Still, these students stress the importance of external factors like religion/mysticism and technology. There is no effect of previous knowledge on theory development other than affecting the amount of research possible afterwards.

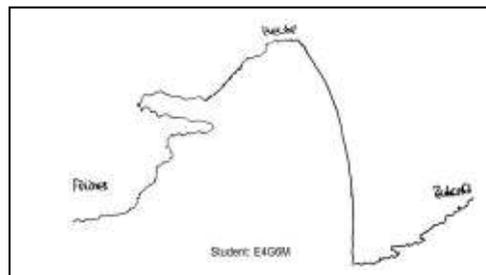


Fig. 8: Students' drawing illustrating science developing as collective entity

The drawing in fig. 9 illustrates the second facet. According to this student's explanations, she sees science as a network of individual scientists as well as research groups, communicating and collaborating, grounding their own work upon the results of others or criticizing each other. Students like her have a tendency to favor a traditional narrative structure (see above), conveying the belief that these activities are typical and unlikely to change over time. This type of

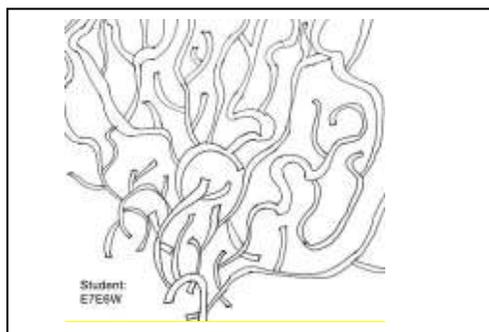


Fig. 9: Students' drawing illustrating science developing as evolving network

metaphorization involves a disregard for societal as well as religious influences, while influences due to individual failures and problems are a recurring topic in this kind of narrations. Nevertheless, there is no conclusive evidence that this metaphorization correlates with equating unsuccessful verification with failed research, reflecting a naïve verificationist view of science (Hodson, 1993).

4.5 SYNTHESIS: THE VARIOUS WAYS OF SCIENCE

As already mentioned, the final result of an application of TWOS is a set of ideal-types sufficient to describe students' basic ideas about the change and development of science through time. Recurrent comparison to empirical data on students' beliefs on NOS from other studies (external validation) and continuous checking for counterfactual instances within datasets (internal validation) ensures validity of the resulting ideal-types, allowing for a moderate generalization beyond the specific sample of this study.

Table 4 presents a structured overview of the ideal-types reconstructed in our study. Brief descriptions clarify the idea about the diachronic NOS underlying each of the ideal types.

Table 4: Seven ideal types of students' beliefs about the diachronic nature of science.

Type N°	<i>Change in science as ...</i>	Underlying view about the diachronic nature of science
1	<i>... mining a limited resource</i>	Scientists have been and still are successfully disclosing nature's secrets, providing true scientific knowledge with methods growing ever more effective. Due to a limited amount of still undisclosed natural phenomena, at some point in the future there might be nothing left to discover. Therefore, scientific activities as we know them are beginning to decrease and will have to terminate someday in the future.
2	<i>... finally growing up</i>	Science of the past overcame external, societal and technological obstacles (e.g. mysticism, religion, lack of acceptance, inadequate materials) suppressing the inherent potential of science. Extraordinary events or people (enlightenment, industrial revolution, genius scientists etc.) helped science break free from past constraints. Science today is mature, and therefore finally able to replace old and erroneous ideas of past science with the correct, true knowledge about nature.
3	<i>... Münchhausen-science²</i>	Science of the past was ridden with internal inadequacies (e.g. inadequate research instruments and strategies, hasty conclusions, lack of collaboration), preventing it from flourishing. Still, scientists produced or improved their tools for building knowledge (e.g. correct ideas to build upon, effective methods etc.), thereby pulling itself out of a problematic situation. Throughout the time, stability of scientific ideas depends on the tools scientists use, making today's ideas quite final.
4	<i>... a story of dead ends</i>	Science progresses evolutionary by sacrificing those who end up in blind alleys, whose research that did not manage to produce the results initially expected. They are clearing the way for those incidentally managing to ask the right questions or get the right ideas. Wisdom of hindsight leads to effectively identifying research bound to fail, successively minimizing the number of dead ends in science.
5	<i>... sequential problem solving</i>	Science produces knowledge effectively by solving problems successively one at a time. Problems may arise from within science (e.g. conflicting evidence) or from the outside (e.g. stopping climate change), but have been and will always be solved with success. Each solution produced by scientific activity is unique and adds to the repertoire of scientific knowledge in a non-cumulative way.
6	<i>... objective technological progress</i>	As we can see with our own eyes, science improves successively by producing technological artifacts. There is no limit to the amount of this "knowledge" to be unveiled. Individual and societal needs determine the direction of scientific research and with it the types and solvability of its problems.
7	<i>... creative science towards techno-science</i>	Scientists of the past needed to work hard and creatively, since various obstacles (lack of technology, materials, rationality etc.) made successful research difficult. The role of creativity and ingenuity is declining with time, since nowadays technology takes over most activities in science, relieving scientist from most of the duties of the past, changing their role to managers of knowledge-production.

The typology highlights the fact, that some dimensions play a prominent role in shaping students' meaning-making about scientific change. The students' narrative structures, for instance seem to emerge from and organize their epistemological and ontological beliefs.

Also, students' beliefs about factors influencing scientific change indicate their attitudes towards past science, which in turn play a major role in defining students' views about the diachronic NOS on a more general level. Negative attitudes – e.g. seeing past science as problematic due to internal inadequacies – seem to evoke less adequate beliefs about social and epistemological features of science. More positive attitudes – e.g. stressing external obstacles – do not lead directly to adequate beliefs. Instead, these students' show a weak tendency for strictly differentiating between past and contemporary science, stressing stable features.

The ideal types presented here will enhance our understanding of the belief-systems of “non-ideal” students by functioning as heuristic tools for analyzing their views about the diachronic NOS.

5. CONCLUSION

Students' beliefs about the diachronic NOS structure their meaning-making about past science. Teaching approaches based on the history of science like stories, case studies or historical-investigative approaches have to consider these preconditions in order to enable learning about NOS. Determining students' beliefs on change and development in science and their influencing factors is an important step toward more informed teaching.

Analysis of students' drawings and explanations of “The Way of Science” indicate that the metaphor-based drawing activity enriched by written and oral explanations and combined with a two-level data analysis provide a sound basis for reconstructing students' beliefs about the diachronic NOS. The students in our sample neither expressed problems with understanding the activity nor with producing a wide array of way-metaphors. Since the developmental status and cognitive abilities of students strongly influence the metaphorical skills of younger children (supposedly until the age of 9) (Pierce & Chiappe, 2009; Vosniadou *et al.*, 1984), it is currently not assured, if the TWOS-instrument can be used validly with students of various age groups. Thus, further research will be needed in order to test the validity of TWOS for a variety of different test-samples.

The TWOS procedure leads to a richer understanding of students' beliefs, since it elicits ideas about change in science from a product- as well as a process-perspective: If students construct and explain their drawings students, they are make use of two different und sometimes conflicting conceptualizations of science - “science as knowledge” and “science as activity”. The procedure also allows for the expression of beliefs about epistemological, social and methodological features of science in a common context. This prevents the problems typically arising from artificially separating and spreading these issues over several questions and contexts. TWOS may therefore serve as a starting point for further investigations on the diachronic NOS. The typology of students' views about change in science can also guide classrooms activities by enriching explicit philosophical reflections about the nature of change in science.

We are aware that the number and character of dimensions informing TWOS are quite specific and might have to be extended for future use of TWOS. Still, our results indicate, that students' beliefs about the diachronic NOS build upon more general beliefs about history and

past science and are shaped by emotional undercurrents stemming from students' attitudes about (past) science as well as science teaching. The ideal-types presented in our study reflect this interrelation.

TWOS data supports the hypothesis, that students do indeed differentiate between the nature of past and contemporary science on different levels, focusing mainly on methodological transitions and on the changing epistemological status of its knowledge. Based on the evidence presented by this study, it is plausible to assume that other dimensions of beliefs about NOS might also be affected by the time-frame within which they are assessed by students. Their ideas on tentativeness in science, for instance, might change with either past or present science as a point of reference. This knowledge can guide selection and reflection of historical and contemporary episodes of science in science lessons to enable learning about features of science in the context of their development and help to foster a critical stance towards proposals of scientific universals.

REFERENCES

- ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **37** (10): 1057-1095, 2000.
- ABLES, B. S. The use of the Draw-A-Man Test with borderline retarded children without pronounced pathology. *Journal of Clinical Psychology* **27** (2): 262-263, 1971.
- ABREU, V. B. Emotional indicators of child sexual abuse in draw a person projective drawing using selected Van Hutton's scoring criteria. *Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering*, 2006.
- ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education* **95** (3): 518-542, 2011.
- ALLCHIN, D. The Power of History as a Tool for Teaching Science. Pp. 70-98, in: DALLY, A.; NIELSEN, T.; REIß, F. (Eds.). *History and Philosophy of Science: A Means to Better Scientific Literacy?* Loccum: Evangelische Akademie Loccum, 1997.
- BARFIELD, O. *History in English words*. Hudson: Lindisfarne Press, 1967.
- BARTH, M. Prozessbezogene Kompetenzen. Eine Lanze für historische Zugänge! *Praxis der Naturwissenschaften/Physik in der Schule*, **59** (4): 23-28, 2010.
- BECK, B.; DOUGLAS, M. S.; EDMONSON, J.; FERNANDEZ, W.; FODOR, I.; FÓNAGY, I.; IZBUL, Y. The metaphor as mediator between semantic and analogic modes of thought. *Current Anthropology* **19**: 83-94, 1978.
- BENSON, D. L.; WITTROCK, M. C.; BAUR, M. E. Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching* **30** (6): 587-597, 1993.
- BERLIN, R.; OLSON, M.; CANO, C.; ENGEL, S. Metaphor and psychotherapy. *American Journal of Psychotherapy* **XLV**: 359-367, 1991.
- BORRIES, B. von; ANGVIK, M.; KÖRBER, A. (Eds.). *Youth and history: a comparative European survey on historical consciousness and political attitudes among adolescents*. Hamburg: Körber-Stiftung, 1997.
- CAREY, S.; EVANS, R.; HONDA, M.; JAY, E.; UNGER, C. An experiment is when you try it and see if it works: A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education* **11**: 514-529, 1989.
- CAREY, S.; SMITH, C. On Understanding the Nature of Scientific Knowledge. *Educational Psychologist*; **28** (3): 235-251, 1993.
- CARTWRIGHT, N. *How the laws of physics lie*. Oxford, England: Clarendon, 1983.

- CHAMBERS, D. W. Stereotypic images of the scientist: The Draw-a-Scientist Test. *Science Education* **67** (2): 255-265, 1983.
- CLOUGH, M.; OLSON, J. Teaching and assessing the nature of science: An introduction. *Science & Education* **17** (2): 143-145, 2008.
- COLLINS, H. M.; SHAPIN, S. Experiment, Science Teaching, and the New History and Sociology of Science. Pp. 67-79, in: SHORTLAND, M.; WARWICK, A. (Eds.). *Teaching the history of science*. Oxford: Basil Blackwell, 1989.
- DASTON, L.; GALISON, P. *Objectivity*. New York: Zone Books, 2007.
- DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. *Young People's Images of Science*. Buckingham, Philadelphia: Open University Press, 1996.
- DUSCHL, R. A. *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press, 1990.
- EDWARDS, J.; FRASER, K. Concept maps as reflectors of conceptual understanding. *Research in Science Education* **13** (1): 19-26, 1983.
- EVANS, R. D.; EVANS, G. E. Cognitive Mechanisms in Learning from Metaphors. *The Journal of Experimental Education* **58** (1): 5-19, 1989.
- FINSON, K. D.; BEAVER, J. B.; CRAMOND, B. L. Development and field test of a checklist for the Draw-a-Scientist Test. *School Science and Mathematics* **95** (41): 195-205, 1995.
- FINSON, Kevin D. Drawing a Scientist: What We Do and Do Not Know after Fifty Years of Drawings. *School Science and Mathematics* **102** (7): 335-345, 2002.
- FISCHER, D. H. *Historians' fallacies: Toward a logic of historical thought*. New York: Harper Perennial, 1970.
- GALILI, I.; HAZAN, A. The Effect of a History-Based Course in Optics on Students' Views about Science. *Science & Education* **10** (1): 7-32, 2001.
- GLYN, T.; SILK, A. An introduction to the psychology of children's drawings. New York: Harvester Wheatsheaf, 1990.
- HACKING, I. *Historical Ontology*. Cambridge: Harvard University Press, 2004.
- HAND, B.; LAWRENCE, C.; YORE, L. D. A writing in science framework designed to enhance science literacy. *International Journal of Science Education*, **21** (10): 1021-1035, 1999.
- HAYS, R. E.; LYONS, Sherry. J. The bridge drawing: A projective technique for assessment in art therapy. *The Arts in Psychotherapy* **8**: 207-217, 1981.
- HEARN, F. The dialectical uses of ideal-types. *Theory and Society* **2** (1): 531-561, 1975.
- HENKE, A. Lernen über die Natur der Naturwissenschaften: Forschendes Lernen und historische Fallstudien im Vergleich. (Learning about the nature of science: Comparing inquiry based learning and historical case studies). Pp. 592 – 594, in: HÖTTECKE, D. S.; BERNHOLT (Eds.). *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Oldenburg*. Münster: LIT-Verlag, 2012.
- HENKE, A.; HÖTTECKE, D. Entwicklung von Schülervorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften im Rahmen forschenden Lernens und historischer Fallstudien. Pp. 398-400, in: BERNHOLT, S. (ed.) *Zur Didaktik der Chemie und Physik, GDGP-Jahrestagung in Hannover 2012*. Kiel: IPN, 2013.
- HENKE, A.; HÖTTECKE, D.; RIEB, F. Case Studies for Teaching and Learning with History and Philosophy of Science: Exemplary Results of the HIPST Project in Germany. TENTH INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY, AND SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 6, 2009, South Bend, USA. *Proceedings...* South Bend, USA: University of Notre Dame, 2009. Available at <http://www3.nd.edu/~ihpst09/papers/Henke_MS.pdf>, Access: 28.10.2011.
- HODSON, D. Philosophic stance of secondary school science teachers, curriculum experiences, and children's understanding of science: Some preliminary findings. *Interchange*, **24** (1-2): 41-52, 1993.

- HODSON, D. *Teaching and Learning about Science*. Rotterdam: Sense Publishers, 2009.
- HOFER, B. K. Domain specificity of personal epistemology: Resolved questions, persistent issues, new models. *International Journal of Educational Research* **45** (1-2): 85-95, 2006.
- HÖTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education* **21** (9): 1233-1261, 2012.
- JASANOFF, S. The idiom of co-production. Pp. 1-13, in: JASANOFF, S. (ed.). *States of knowledge: the co-production of science and social order*. New York: Routledge, 2004.
- KAUFMANN, G. *Imagery, Language and Cognition*. Oslo: Norwegian University Press, 1980.
- KELLE, U. Sociological explanations between micro and macro and the integration of qualitative and quantitative methods. *Historical Social Research* **30** (1): 95-117, 2005.
- KHISHFE, R. Nature of Science and Decision-Making. *International Journal of Science Education* **3**: 41-34, 2011.
- KING, G.; KEOHANE, R. O.; VERBA, S. *Designing social inquiry: scientific inference in qualitative research*. Princeton: Princeton Univ. Press, 1994.
- KLUGE, S. Empirically Grounded Construction of Types and Typologies in Qualitative Social Research. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* **1** (1): art. 14, 2000.
- KNORR-CETINA, K. *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge: Harvard University Press, 1999.
- KOLSTØ, S.D. Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socio-scientific issues. *Science Education* **85** (3): 291-310, 2001.
- KÖVECSES, Z. *Metaphor : a practical introduction*. New York: Oxford University Press, 2002.
- KRAGH, H. *An Introduction to the Historiography of Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- LAKOFF, G.. Contemporary theory of metaphor. Pp. 202-251, in: ORTONY A. (ed.). *Metaphor and thought*. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 1993.
- LAKOFF, G.; JOHNSON, M. *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press, 1980.
- LAUDAN, L.; DONOVAN, A.; LAUDAN, R.; BARKER, P.; BROWN, H.; LEPLIN, J.; THAGARD, Paul; WYKSTRA, S. Scientific change: Philosophical models and historical research. *Synthese* **69** (2): 141-223, 1986.
- LAUGKSCH, R. C. Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education* **84** (1): 71-94, 2000.
- LEDERMAN, N. G. Nature of science: Past, present, and future. Pp. 831-879, in: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). *Handbook of research on science education*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007.
- LEDERMAN, N.; WADE, Philip; BELL, René L. Assessing Understanding of the Nature of Science: A Historical Perspective. Pp. 331-350, in: MCCOMAS, William F. (ed.). *The Nature of Science in Science Education*. Springer: Netherlands, 2002. 5 vols.
- LEISEN, J. Physikalische Begriffe und Sachverhalte. Repräsentationen auf verschiedenen Ebenen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* **47** (2): 14-18, 1998.
- LONGINO, H. The Social Dimensions of Scientific Knowledge. in: ZALTA, E. N. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Spring 2013 Ed., Stanford: Center for the Study of Language and Information, Stanford University, 2013. Available at <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/scientific-knowledge-social/>>, access 12.03.2013.
- MATTHEWS, M. R. A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange* **20** (2): 3-15, 1989.
- MATTHEWS, M. R. *Time for science education: how teaching the history and philosophy of pendulum motion can contribute to science literacy*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000.
- MAXWELL, Joseph A. Understanding and validity in qualitative research. *Harvard educational review* **62** (3): 279-301, 1992.

- MAYRING, P. On Generalization in Qualitatively Oriented Research. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* **8** (3), 2007. Available at: <<http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/291/639>>, Access: 02.11.2011
- MAYRING, P. Qualitative Inhaltsanalyse. Pp. 601-613, in: MEY, G.; MRUCK, K. (Eds.). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Oxford: Oxford University Press, 2010
- MCCOMAS, W. F. *The nature of science in science education: rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1998.
- MEAD, M.; MÉTRAUX, R. The Image of the Scientist among High-School Students. A Pilot Study. *Science* **126** (3270): 384-390, 1957.
- MESSICK, S. Validity. Pp. 13–103 in: LINN, R. L. (ed.). *Educational measurement*. Washington, DC: American Council on Education and National Council on Measurement Education, 1989.
- METCALFE, M. Generalisation: Learning across epistemologies. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, **6** (1), 2005. Available at <<http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/525>>, Access: 06.11.2011.
- MOSER, K. S. Knowledge Acquisition through Metaphors: Anticipation of Self Change at Transitions from Learning to Work. Pp. 141-152 in: Hansen H.; Sigrist B.; Goorhuis H. & Landolt H. (Eds.), *Arbeit und Bildung - das Ende einer Differenz? Travail et formation - la fin d'une distinction? Learning and Work - the End of a Distinction?* Aarau: Bildung Sauerländer, 1999.
- MOSER, K. S. Metaphor Analysis in Psychology - Method, Theory, and Fields of Application. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research* **1** (2), 2000. Available at <<http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1090/2387>>, Access: 06.11.2011.
- MUSCARI, P. G. The metaphor in science and in the science classroom. *Science Education* **72**(4): 423-431, 1988.
- NIINILUOTO, I. Scientific Progress. *Synthese* **45**: 427-464, 1980.
- PAJARES, M. F. Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research* **62** (3): 307-332, 1992.
- PANDEL, H.-J. Erzählen und Erzählakte. Neuere Entwicklungen in der didaktischen Erzähltheorie. Pp. 39-56, in: DEMANTOWSKY, M.; SCHÖNEMANN, B. (Eds.). *Neue geschichtsdidaktische Positionen*. Bochum: Projekt-Verlag, 2002.
- PANDEL, H.-J. Zur Genese narrativer Kompetenz. Pp. 99-122, in: PANDEL, H. J.; BORRIES, V. (Eds.). *Zur Genese historischer Denkformen*. Pfaffenweiler: Centaurus, 1995.
- PAYNE, G.; WILLIAMS, M. Generalization in Qualitative Research. *Sociology* **39** (2): 295-314, 2005.
- PERA, M. *The Discourse of Science*. Chicago: The University of Chicago Press, 1994.
- PIERCE, R. S.; & CHIAPPE, D. L. The Roles of Aptness, Conventionality, and Working Memory in the Production of Metaphors and Similes. *Metaphor and Symbol* **24** (1): 1-19, 2009.
- PRESTES, M. E. B. Methodological parameters of the research of Lazzaro Spallanzani. *Circumscribere - International Journal for the History of Science* **2**: 34-41, 2007.
- PRIEMER, B. Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **12**: 159-175, 2006.
- PSATHAS, G. The Ideal Type in Weber and Schütz. Pp. 143-169, in: ENDRESS M.; PSATHAS, G.; NASU H. (Eds.). *Explorations of the Life-World*. 53. ed. Springer Netherlands: Academic edition, 2005.
- RATCLIFFE, M. Redox mapped out. *Journal of Chemical Education* **32** (1): 14-16, 1995.
- REIß, W. Erhebung und Auswertung von Kinderzeichnungen. Pp. 173-188, in: HEINZEL, F. (ed.). *Methoden der Kindheitsforschung*. Weinheim, München: Juventa, 2012.
- RHEINBERGER, H.-J. *Historische Epistemologie zur Einführung*. Hamburg: Junius, 2007.
- RITCHIE, S.; RUSSELL, B. The construction and use of a metaphor for science teaching. *Research in Science Education* **21** (1): 281-289, 1991.

- ROKEACH, M. *Beliefs, attitudes, and values: A theory of organization and change*. San Francisco: Jossey-Bass, 1972.
- RUDGE, D. W.; HOWE, E. M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education* **18** (5): 561-580, 2009.
- RUDGE, D. W.; HOWE, E. M. Incorporating History into the Science Classroom. *Science Teacher* **71** (9): 52-57, 2004.
- RUIZ-PRIMO, M. A.; SHAVELSON, R. J. Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, **33** (6): 569-600, 1996.
- RÜSEN, J. Die vier Typen des historischen Erzählens. Pp. 514-606, in: RÜSEN, J.; KOSELLECK, R. (Eds.). *Formen der Geschichtsschreibung*. München: DTB, 1982.
- SCHOMMER, M. Synthesizing epistemological belief research: Tentative understandings and provocative confusions. *Educational Psychology Review* **6** (4): 293-319, 1994.
- SCHOMMER-AIKENS, M. An evolving theoretical framework for an epistemological belief system. Pp. 105-121, in: HOFER, B. K.; PINTRICH, P. R. (Eds.). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 2002.
- SCHREIBER, W. (ed.). *Erste Begegnungen mit Geschichte. Grundlagen historischen Lernens. Bayerische Studien zur Geschichtsdidaktik, Bände 1 und 2*. München und Neuried: Ars una Verlag, 1999.
- SCHREIBER, W.; KÖRBER, A. ; BORRIES, B. v. ; KRAMMER, R. ; LEUTNER-RAMME, S. ; MEBUS, S. ; SCHÖNER, A.; ZIEGLER, B. *Historisches Denken. Ein Kompetenz-Strukturmodell*. Pp. 17-53, in: KÖRBER, Andreas; SCHREIBER, W.; SCHÖNER, A. (Eds.). *Kompetenzen historischen Denkens: ein Strukturmodell als Beitrag zur Kompetenzorientierung in der Geschichtsdidaktik*. Neuried: ars una, 2007.
- SCHWARTZ, R. What's in a Word? How Word Choice Can Develop (Mis)conceptions about the Nature of Science. *Science Scope* **31** (2): 42-47, 2007.
- SEFEROGLU, G.; KORKMAZGIL, S.; ÖLÇÜ, Z. Gaining insights into teachers' ways of thinking via metaphors. *Educational Studies* **35** (3): 323-335, 2009.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J.; SCOT, L. Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, **16** (3): 361-373, 1994.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J.; SCOT, L. Teaching About the Nature of Science through History: Action Research in the Classroom. *International Journal of Science Education* **29** (4): 409-421, 1992.
- STINNER, A.; MCMILLAN, B. A.; METZ, D.; JILEK, J. M.; KLASSEN, S. The renewal of case studies in science education. *Science & Education* **12** (7): 617-643, 2003.
- STONE, L. The Revival of Narrative: Reflections on a New Old History. *Past and Present* **85** (1): 3-24, 1979.
- THOMAS, G. P. Metaphor, Students' Conceptions of Learning and Teaching, and Metacognition. Pp. 105-117, in: AUBUSSON, P. J.; HARRISON, A. G.; RITCHIE S. M. (Eds.). *Metaphor and Analogy in Science Education*. 30. ed. Dordrecht: Springer, 2006.
- THOMAS, G. V.; JOLLEY, R. P. Drawing conclusions: A re-examination of empirical and conceptual bases for psychological evaluation of children from their drawings. *British Journal of Clinical Psychology*, **37** (2): 127-139, 1998.
- VOSNIADOU, S. Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: A developmental perspective. Pp. 413-437, in: VOSNIADOU S.; ORTONY A. (Eds.). *Similarity and analogical reasoning*. New York: Cambridge University Press, 1989.
- VOSNIADOU, S.; ORTONY, A.; REYNOLDS, R. E.; WILSON, P. T. Sources of Difficulty in the Young Child's Understanding of Metaphorical Language. *Child Development* **55** (4): 1588-1606, 1984.
- WANG, H. A.; MARSH, D. D. Science Instruction with a Humanistic Twist Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms. *Science & Education* **11** (2): 169-189, 2002.

- WEBER, M. The types of legitimate domination [1914]. Pp. 256-263, in: CALHOUN, C. (ed.). *Classical sociological theory*. Malden, Mass. [u.a.]: Blackwell, 2009.
- WEBER, S.; SCHUMANN, M. Das Concept Mapping Software Tool (COMASOTO) zur Diagnose strukturellen Wissens. Pp. 158-179, in: MANDL, H.; FISCHER, F. (Eds.). *Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken*. Hogrefe: Göttingen, 2000.
- ZEIDLER, D. L.; WALKER, K. A.; ACKETT, W. A.; SIMMONS, M. L. Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, **86** (3), 343-367, 2002.
- ZEYER, A.; KÄGI, S. Colorful Nature and Grey Misery: Science and Technology in an Environmental Context as Analyzed in Pictures Made by 11- to 13-Year-Old Swiss Students. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* **10** (1): 40-60, 2010.
- ZIMAN, J. M. *Real science: what it is, and what it means*. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2000.

HISTORIA Y ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: UNA DISCUSIÓN RELEVANTE QUE INTERPELA LA ENSEÑANZA

Carola Astudillo *
 Alcira Rivarosa **
 Félix Ortiz ***

Resumo: *El presente trabajo describe y fundamenta una estrategia de formación docente que integra el abordaje de casos paradigmáticos de la Historia de la Ciencia con el conocimiento de contenidos disciplinares específicos y un saber pedagógico y didáctico asociado a la actividad experimental en clases de ciencia. Tras su implementación con un grupo de docentes de Nivel Primario, se analizan los significados que la estrategia moviliza en torno a la naturaleza de los procesos de producción científica y sus implicancias para pensar experiencias de laboratorio escolar. A partir de ello, se propone una hipótesis acerca de los obstáculos y posibilidades que pueden impedir o facilitar el progreso hacia concepciones más evolucionadas.*

Palabras clave: *actividad experimental; laboratorio escolar; naturaleza de la ciencia; historia de la ciencia*

HISTORY AND EXPERIMENTAL ACTIVITY: A RELEVANT DISCUSSION THAT CHALLENGES TEACHING PRACTICES

Abstract: *This paper describes and justifies a teacher training strategy that integrates the approach of paradigmatic cases of the History of Science with the knowledge of specific disciplinary content and the pedagogical and teaching knowledge associated with experimental activity in science classes. After its implementation with a group of teachers at Primary School, we have analyzed the meanings that the strategy generates about the nature of scientific production processes and their implications to think about lab experiences. From this, we propose a hypothesis about the obstacles and opportunities that may impede or facilitate progress towards more advanced concepts.*

Key words: *experimental activity; school lab; nature of science; history of science*

* Becaria Postdoctoral de CONICET, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36, km. 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. castudillo@rec.unrc.edu.ar

** Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36, km. 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. arivarosa@exa.unrc.edu.ar

*** Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36, km. 601, Río Cuarto, Córdoba, Argentina. fortiz@exa.unrc.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

Asistimos en la actualidad a un giro ideológico acerca de los objetivos que debería asumir la educación científica. Al respecto, se postula la inclusión de nuevas metas referidas al quehacer científico, las lógicas de argumentación y la dimensión histórico-cultural en la elaboración de las teorías (Aikenhead, 1994; Gil Pérez, 1994; Pozo, 2001).

En este marco, la historia del progreso del conocimiento se instala como un contenido metacientífico de primera importancia, al menos en tres sentidos:

- a) conduce a superar visiones deformadas y empobrecidas de la actividad científica (Gil Pérez, 1994; Solbes y Vilches, 1997; Fernández et al., 2002, 2004);
- b) permite relacionar el conocimiento a enseñar con los problemas de origen, las herramientas conceptuales y metodológicas disponibles y los valores culturales de cada contexto histórico (Quintanilla, et al., 2005); y
- c) contribuye a abordar las nuevas preguntas fundamentales: ¿cuál es la importancia de la educación científica hoy?, ¿qué visión de ciencia y actividad científica construimos?, ¿Cómo diseñar actividades de auténtico valor cognitivo y epistémico?, etc. (Rivarosa, 2009).

Aunque la reflexión teórica sobre esta cuestión está expandiéndose rápidamente en la literatura especializada, aún queda mucho por hacer en lo que atañe a la generación de propuestas prácticas para la formación del profesorado. Esperando ofrecer una contribución en este sentido, hemos diseñado una estrategia de formación que integra la Historia de la Ciencia con el conocimiento de contenidos disciplinares específicos y un saber pedagógico y didáctico asociado a la actividad experimental en clases de ciencia.

Adoptamos para ello el principio de anclar el conocimiento metacientífico en los saberes disciplinares y didácticos del profesor, ofreciendo alternativas para la estructuración de nuevos modelos de práctica desde el abordaje de ejemplos paradigmáticos significativos y potentes. (Quintanilla, et al., 2005, Adúriz Bravo, et al., 2002).

La estrategia, que describiremos a continuación, fue efectivamente implementada con un grupo de docentes de Ciencias Naturales de Nivel Primario que se encontraban cursando un trayecto de actualización de Didáctica. En este marco, se recogieron los textos elaborados por los participantes como respuesta a las actividades propuestas, lo que conforma el corpus de datos que nos proponemos analizar en este trabajo.

El objetivo es identificar aquellos significados que la estrategia moviliza en torno al trabajo experimental en procesos de producción científica y sus implicancias para pensar experiencias de laboratorio escolar. Es nuestra intención, a partir de ello, avanzar en la definición de hipótesis acerca de los obstáculos y posibilidades que pueden impedir o facilitar el progreso hacia concepciones más evolucionadas.

2. HISTORIA Y EXPERIMENTACIÓN EN LA FORMACIÓN DE PROFESORES

¿Cómo movilizar el pensamiento del profesor hacia la integración de la actividad experimental en modelos didácticos más acordes con la Historia de la Ciencia y Epistemología? En primer lugar, asumimos que su incorporación significativa en clases de

Ciencias requiere del desarrollo de un modelo educativo que:

- a) supere visiones de aprendizaje por descubrimiento, tradicionalmente asociadas a tareas de laboratorio escolar;
- b) trascienda los modelos inductivistas sobre la naturaleza de la investigación científica que sitúan a la observación como objetivo y punto de partida
- c) permita re-situar el papel de la creatividad y la imaginación como componentes de todo diseño experimental;
- d) revierta el carácter demostrativo, comprobatorio o verificacionista de la experimentación;
- e) deje espacio al estudiante en la tarea de diseño de experiencias y la reflexión respecto del por qué y para qué de cada actividad;
- f) promueva en los estudiantes el cambio conceptual, el razonamiento práctico y la comprensión de la condición problemática de la actividad científica (García Martínez et al., en Adúriz Bravo et al., 2002; Carrascosa, et al., 2006).

Como puede advertirse, estos principios se vinculan directamente con una serie de contenidos metacientíficos que la literatura de investigación considera como principales para la formación del profesor de Ciencias: “el papel de la tecnología, la tentatividad del conocimiento, la pluralidad metodológica, la carga teórica de la observación y la ciencia como una empresa histórica y socialmente situada, que evoluciona en el tiempo” (Adúriz Bravo, et al. 2002, p. 467).

Ahora bien, ¿cómo contribuir a pensar una práctica de enseñanza coherente con estos principios? ¿Cómo recuperar y problematizar saberes disciplinares, didácticos y epistemológicos asociados a las prácticas de laboratorio escolar? Intentando ofrecer una respuesta a estos interrogantes formulamos una actividad de formación para profesores de Ciencias, organizada en tres momentos:

1. Lectura y análisis de ejemplos paradigmáticos de la historia de la ciencia (Quintanilla, et al., 2005) desde un ángulo narrativo que enfatiza la dimensión temporal y contextualizada del proceso de investigación. Se aborda la ciencia como un producto del intelecto y del trabajo humano, y como conocimiento abierto, en continuo cambio y evolución.

2. Elaboración de una actividad experimental referenciada en un caso histórico de investigación científica. Dado que ésta es una instancia inicial y exploratoria esperamos ver emerger algunos de los núcleos de resistencia que aún persisten en los modos de concebir a la actividad experimental y que se derivan de modelos tradicionales de transmisión – recepción.

3. Problematización de un protocolo escolar de laboratorio a partir de textos de pensadores y científicos de diferentes épocas que abordan el mismo problema (el origen de la vida) con las herramientas explicativas disponibles en cada momento. El laboratorio se convierte aquí en una mesa de diálogo con la historia de la ciencia, la relevancia socio-cultural de la producción científica y las sucesivas crisis de paradigmas.

3. RESISTENCIA Y MOVILIZACION EN LA REFLEXIÓN METACIENTÍFICA

Como ya hemos anticipado, la estrategia de formación fue implementada con un grupo de docentes en ejercicio de Educación Primaria (22 participantes), en el marco de un trayecto de actualización en Didáctica de las Ciencias. A continuación se desarrollan los resultados

obtenidos a partir del análisis de las producciones escritas de los docentes en respuesta a cada una de las instancias que conforman la estrategia.

3.1 Lectura y análisis de ejemplos paradigmáticos de la historia de la ciencia

Como hemos señalado, el primer momento consistió en la lectura de un texto acerca del trabajo científico de Luis Pasteur (Barcenas y Artis, 1987). El texto fue elegido en tanto reúne dos condiciones centrales para un curso de *Didáctica* para docentes de *Nivel Primario que no poseen formación epistemológica específica*. Por un lado ofrece una narración en un lenguaje fluido y accesible respecto del carácter procesual de la metodología de investigación (superando una visión clásica del método por pasos). Por otro lado, ofrece fragmentos de textos originales de Luis Pasteur, elaborados durante su trabajo experimental, dando cuenta de condiciones del contexto y procedimientos argumentativos en torno al problema de investigación.

Para orientar el análisis de las respuestas ofrecidas por los participantes (22 producciones escritas) se definieron -a posteriori- cuatro categorías de interpretación que aluden a diferentes tópicos de reflexión epistemológica: el proceso de validación experimental, los modos de justificación de ideas e hipótesis, los orígenes de los problemas y motivaciones de la búsqueda, y los valores y principios éticos de la tarea investigativa (Rivarosa, 2009)

3.1.1 El proceso de validación experimental

Este núcleo de reflexión refiere a la pertinencia y sentido del método en relación con problemas e hipótesis, así como los criterios éticos en la búsqueda de verdades relativas. Se recuperan las vicisitudes del proceso de construcción metodológica y el status del objeto de estudio.

La reconstrucción del caso histórico, condujo a los docentes a identificar los momentos centrales de todo proceso de investigación científica. Como punto de partida, señalaron la observación de hechos que resisten explicaciones disponibles en cada contexto histórico, así como el desarrollo de instancias experimentales para determinar el alcance o relevancia del problema a investigar y fundamentar el trabajo del investigador.

Se reconoció la relación de ajuste y coherencia entre interrogantes, formulación de hipótesis y diseño de procedimientos, enfatizando la necesidad de complementar la construcción de explicaciones contrastables con el desarrollo de nuevos métodos de indagación y experimentación.

Se señaló fuertemente la consideración del proceso de experimentación como instancia abierta que da lugar a nuevos interrogantes y requiere de una sucesión de repeticiones y ajustes antes de ofrecer un resultado pasible de ser considerado. Este proceso requiere, según los docentes, de la anticipación de posibles objeciones que el método pueda sufrir y el conocimiento profundo de las variables involucradas.

A pesar de estas consideraciones, algunos participantes persistieron en una visión lineal, exitista y simplificada del proceso de validación experimental, con componentes de inspiración personal, descubrimiento espontáneo de nuevas ideas o comprobación y refutación directa de hipótesis. En estos casos, el sentido de objetividad se asoció con la naturaleza cuantitativa de los procedimientos, el dominio técnico y sus condiciones de replicabilidad por parte de otros sujetos. Asimismo, expresiones como “sacar conclusiones de la observación” o “acercarse a la verdad”, dejaron vislumbrar cierta persistencia de concepciones inductivistas.

Una consideración especial merecen las apreciaciones que los participantes hicieron acerca de la importancia de la actividad experimental en la enseñanza:

- a) se la reconoce como escenario propicio para procesos de cambio conceptual;
- b) esta potencialidad se asocia a la riqueza y variedad de procedimientos involucrados: poner a jugar ideas, formular interrogantes, reconocer el papel del error, desarrollar sucesivas reformulaciones, planificar estratégicamente, predecir, etc.;
- c) es una estrategia potente para el aprendizaje activo, contribuyendo a superar procesos reproductivos o memorísticos;
- d) es una oportunidad para desarrollar la creatividad y autonomía y recuperar la historia de los conceptos.

3.1.2 La justificación de ideas e hipótesis

Esta categoría refiere a la evolución y progreso del conocimiento en términos de crisis de paradigmas. Se aborda la incidencia de condicionantes culturales en la consolidación de creencias y el impacto de decisiones académicas, políticas y económicas.

En primer lugar, los docentes indicaron cómo comprobaciones sostenidas en el tiempo derivan en un estado de crisis respecto de teorías existentes de larga data. En este marco, los nuevos interrogantes irían cobrando fuerza gracias a planteos controvertidos que emergen complementariamente. De este modo, lograron describir cómo, en una instancia de desarrollo incipiente, se evidenciarían las falencias del modelo reinante sin que aún sea posible una explicación totalmente nueva y acabada.

Esta perspectiva permitió reconocer un criterio de relatividad de las teorías y comprender que las confrontaciones no sólo se dan entre sistemas de ideas, sino también entre lenguajes (la semántica de la ciencia). Se señaló, finalmente, que los cambios en la ciencia no sólo significan una refundación de los métodos y del objeto de estudio sino que también impactan en el status del trabajo científico, otras áreas de conocimiento y ámbitos de la cultura.

3.1.3 Los orígenes de los problemas y las motivaciones de la búsqueda

La presente categoría hace referencia a la historia y relevancia de los problemas, el carácter humano del proceso y las relaciones entre la lógica de la experimentación y los condicionantes externos (ideológicos, institucionales, recursos, etc.). Respecto de este núcleo de reflexión, los docentes refirieron al proceso por el cual los antecedentes de investigación se integran con nuevas preguntas o hipótesis en una síntesis diferente; no sólo en una relación de confrontación sino también por complemento, reconociéndose el origen y sustento histórico de las prácticas de investigación en diferentes campos.

Se asumió, además, que la relevancia del problema a veces se declara o condiciona por relaciones de poder representadas en sectores políticos y sociales así como por el descreimiento de colegas que incluso llegan a cuestionar la idoneidad del método propuesto. Asimismo, el investigador, en tanto sujeto cultural, se vería en la necesidad de suspender sus posiciones de sentido común, apelando a su racionalidad en la búsqueda de relaciones nuevas entre los hechos.

3.1.4 Valores y principios éticos de la tarea investigativa

Este núcleo de reflexión refiere a la aplicación y transferencia de la producción de la investigación científica, las posiciones éticas, el principio de no neutralidad del conocimiento y

el papel de instituciones científicas y académicas.

En términos generales, los docentes no reflexionan respecto de estas implicancias, ni acerca de las proyecciones de los nuevos desarrollos conceptuales. Tampoco se refiere a la recuperación de las novedades introducidas en estudios posteriores o de otros grupos de investigación, donde el problema se articula con nuevas soluciones o enfoques, etc.

Sólo se reconoce la responsabilidad en la comunicación, publicación o difusión de las conclusiones, y cómo intervienen instituciones y sectores de poder en la valoración de los resultados de la ciencia.

Como puede advertirse, la reflexión de los participantes a partir del relato histórico ofrecido fue permitiéndoles expresar y reconocer, de manera incipiente, algunos significados relevantes para una comprensión más real y dinámica del trabajo experimental en Ciencias. Sin embargo, también hemos constatado que estos ejes de movilización conviven con algunos reduccionismos o visiones deformadas, arraigadas en los modos de representar el quehacer científico. Estos últimos se identifican en la siguiente síntesis (tabla 1) como núcleos de resistencia del pensamiento docente, entendidos aquí como obstáculos en la evolución hacia concepciones más evolucionadas.

Tabla 1. Ejes de movilización y núcleos de resistencia en el análisis de un ejemplo paradigmático de la historia de la Ciencia (momento 1).

Ejes de movilización	Núcleos de resistencia
Comprensión de la naturaleza gradual del progreso científico Evolución articulada de teoría y método Visión abierta e integrada de la actividad experimental, sujeta a ajustes y revisiones Sustento histórico de la actividad experimental. El papel de los antecedentes en la investigación científica Reconocimiento del impacto de la ciencia en la cultura y otras áreas de conocimiento. El investigador como sujeto cultural Transversalidad de los sistemas de poder en el desarrollo de la ciencia.	Visión lineal, elitista y simplificada del proceso de validación experimental Sobrevaloración de componentes de inspiración personal. Concepción inductivista de la actividad experimental Objetividad reducida a procesamiento cuantitativo y dominio técnico de procedimientos Posición secundaria de la reflexión a torno a aplicaciones o transferencias de los desarrollos científicos y sus proyecciones. Énfasis en una perspectiva de descubrimiento

3.2 Lectura y análisis de ejemplos paradigmáticos de la historia de la ciencia

Como ya hemos anticipado, el segundo momento de la estrategia de formación consistió en la elaboración de un diseño de experimentación escolar en función del caso histórico abordado en la primera instancia (Luis Pasteur). El análisis de dichas producciones (22) se realizó en función de un conjunto de categorías didácticas que exponemos a continuación. Para ello, se consideraron los aspectos definidos por Carrascosa (et al., 2006) como fundamentales de una orientación investigativa del aprendizaje de la ciencia y, en este caso, de la actividad experimental.

3.2.1 Validación experimental y laboratorio escolar

Esta categoría señala los momentos principales de los procesos de validación experimental en el laboratorio escolar. En primer lugar, adquieren relevancia los análisis cualitativos que ayudan a comprender y acotar las situaciones planteadas. Una vez definidas y operativizadas las variables del problema, es central el momento de formular las hipótesis a fin de orientar el tratamiento de las situaciones.

Estos criterios no son comunes en los diseños analizados. Sin embargo, en algunos casos, se identificaron instancias informativas y de contextualización del problema. Incluso, antes de proceder a la experimentación en sí misma, algunos diseños proponen preguntas orientadas a indagar ideas espontáneas de los estudiantes y promover la identificación de variables involucradas.

En un conjunto importante de casos las hipótesis se definen de antemano, proponiendo explicaciones excluyentes o la variación de alguna condición de observación. Las hipótesis no se derivan como consecuencias de la problematización original, adoptando el carácter de supuestos teóricos complejos, ya legitimados, a verificar en la práctica experimental.

Por el contrario, otros diseños prevén una significativa participación de los estudiantes en la formulación de hipótesis, a partir de preguntas sugeridas por el docente, o la recuperación de observaciones iniciales. Consideramos que esta modalidad permitiría a los estudiantes expresar sus ideas y construir significado respecto del fenómeno en estudio. Sin embargo, en términos generales, no se hallaron propuestas que trasciendan los enfoques descriptivos, descuidando la significación explicativa del problema en que se inserta la experiencia.

En síntesis, se han identificado dos tipos de diseño experimental: uno de ellos consiste en una sucesión arbitraria de pasos a seguir, con control de algunas variables pero sin que se especifiquen las razones de estas decisiones. El diseño adquiere la forma de receta con sentido empiro-inductivista, donde las observaciones conducirían a la formulación conceptual de los fenómenos.

Por su parte, el segundo tipo de diseño se configura como respuesta progresiva y pertinente en función del proceso reflexivo iniciado con el análisis de variables, la formulación de hipótesis y la contextualización del problema.

Ej.: "Si decimos que los gusanos provienen de fuera de la carne ¿Cómo diseñar un experimento donde nos aseguremos de que no pueda venir ningún elemento extraño de fuera de la carne que pueda dar origen a los gusanos? ¿Cómo saber si los gusanos no aparecieron porque tapamos el frasco o simplemente porque en ese trozo de carne no iban a aparecer gusanos de todos modos? ¿Cómo saber si depende del tipo de carne que usamos? (DE18).

3.2.2 La justificación de las ideas en la experimentación escolar

La adecuada consideración de esta categoría requeriría conocer cómo el docente concibe la articulación del diseño experimental que ha elaborado con momentos didácticos previos y posteriores, ya que refiere a las progresivas integraciones conceptuales en las que la práctica de laboratorio se inserta y adquiere sentido.

En palabras de García Martínez et al. (en Adúriz Bravo, et al., 2002, p. 101), "... existe una relación interdependiente e interactiva entre los procesos de experimentación y la teoría en la construcción de conocimientos científicos, pues los experimentos ayudan construir la teoría y la teoría determina el tipo de experimento que se debe realizar."

Al respecto, y aún considerando diseños aislados, se identificaron algunos esbozos de reflexión o previsión en este sentido. Algunos de ellos se expresan en la propuesta de acompañar las experiencias con lecturas complementarias, o explicitar la intención de abordar otras temáticas relacionadas. Lo que no queda claro es cuál es la estrategia que se prevé para promover procesos de integración conceptual genuina.

Ej.: “Con esta experiencia podríamos desglosar contenidos conceptuales como: la salud humana, la preservación del ambiente, los procedimientos para purificar el agua, la divulgación en la población, así como ecosistema, la vida en el agua, la célula... es amplísima la trama de contenidos que se puede realizar.” (DE12)

3.2.3 Los problemas de partida en diseños experimentales para la enseñanza

Como criterio didáctico, esta categoría refiere al planteo inicial de situaciones abiertas así como la discusión acerca de la relevancia de su abordaje. Al respecto, la mayoría de los diseños experimentales analizados proponen algún tipo de pregunta o problema como punto de partida, entre los cuales se han podido identificar los siguientes tipos:

a) Titulares que definen el tipo de experimentación a realizar, el fenómeno a observar o el supuesto a verificar. Son afirmaciones que introducen conceptos específicos, refieren a fenómenos o supuestos formulados de antemano de manera lineal y acabada. Consideramos que este esquema limita las posibilidades para explicitar preconcepciones, formular explicaciones provisorias u operativizar las dimensiones del problema.

b) Problema cerrado: se introduce algún tipo de cuestionamiento, pero la solicitud de respuestas cerradas dificulta construir la complejidad del fenómeno que se propone estudiar, así como la explicitación de la comprensión del problema por parte de los estudiantes.

c) Problema abierto. Esta categoría es representativa de la mayoría de los diseños experimentales analizados. Son preguntas que suelen referir a fenómenos de observación cotidiana. En algunos casos recurren explícitamente a la reconstrucción de experiencias de los estudiantes o la contextualización en torno a problemáticas de relevancia para el contexto próximo. En general, se requiere la identificación de variables y la formulación de predicciones en función de ellas; promoviendo una actitud crítica sobre el fenómeno en estudio.

Ej.: “¿Por qué los jugos, la tierra o la leche se llenan de moho?” (DE17)

3.2.4 Implicancias éticas, enseñanza y experimentación

La cuarta y última categoría, hace referencia a la consideración de perspectivas vinculadas a problemas derivados, u otros niveles de estudio, la naturaleza colectiva del proceso de investigación, así como las implicancias CTSA de la experimentación realizada

Además, este aspecto señala la importancia de conceder relevancia a la elaboración de memorias científicas que reflejen el trabajo realizado a fin de resaltar el papel de la comunicación y el debate en la actividad científica.

No se han identificado referencias explícitas a esta dimensión en los diseños experimentales. En general, éstos no logran integrar la dimensión colectiva del proceso de experimentación; lo que podría favorecerse potenciando el trabajo grupal y la discusión e intercambio de posiciones. La consideración atenta de esta dimensión contribuiría a construir

una imagen más adecuada de la ciencia, revalorizando el papel del error, la recursividad de los procesos y la definición de consensos colectivos.

Nuevamente, la creación de una situación de laboratorio escolar, tras la reflexión propuesta en la primera instancia, permite advertir la movilización de sentidos complejos e integrados respecto de la actividad experimental en clases de Ciencias. De todos modos, estas nuevas construcciones no consiguen desplazar completamente algunos sistemas de prácticas que vehiculizan visiones tradicionales acerca de la experimentación escolar. Este contraste se sintetiza a continuación (tabla 2) en términos de ejes de movilización y núcleos de resistencia del pensamiento docente.

Tabla 2. Núcleos de resistencia y ejes de movilización en los diseños experimentales (momento 2).

Ejes de movilización	Núcleos de resistencia
Instancias de indagación de preconcepciones de los estudiantes acerca del fenómeno en cuestión. Diseño experimental: proceso de formulación de hipótesis a partir de estudios y observaciones iniciales Diseño como proceso recursivo y estratégico con participación activa del estudiante Instancias de discusión argumentada de resultados Integración de lo abordado y proyección de nuevos abordajes Planteo de problemas abiertos. Contextualización, predicción y explicación provisoria.	Hipótesis: supuestos descriptivos dados de antemano para su verificación Diseño: sucesión arbitraria de pasos predeterminados Sentido empírico-inductivista (extraer conclusiones) Diseño como actividad aislada y descontextualizada Planteo de problemas cerrados de naturaleza dicotómica Visión individual y lineal de la experimentación Experimentación como proceso cerrado y acabado

Como puede advertirse, aquellos principios que hemos identificado como núcleos de resistencia a la hora de concebir un diseño de experimentación escolar se vinculan con un enfoque de *descubrimiento guiado*, en tanto lo que se prioriza es dar con la respuesta correcta en un marco inductivo y empirista. En otros casos, estas ideas parecen acercarse más al concepto de *demonstraciones*, donde la finalidad es ilustrar la teoría con fuerte protagonismo docente.

Por su parte, los ejes de movilización del pensamiento y la práctica docente se aproximan a los modelos de *investigación escolar*, donde los estudiantes – con la guía del docente – se abocan a resolver problemas, construyendo progresivamente un conocimiento pertinente y debidamente fundamentado (García Martínez, et al., en Adúriz Bravo, et al., 2002).

3.3 Problematización de una actividad escolar de laboratorio

El tercer momento de la estrategia de formación situaba a los docentes en la posición de aprendices discutiendo acerca del progreso y sentido de una clásica actividad de laboratorio escolar. En primer lugar, se entregó a los participantes un protocolo de laboratorio que consiste en una sucesión de procedimientos de manipulación de elementos, observación y registro con precisiones temporales. La consigna de trabajo fue la siguiente¹:

¹ Los textos que se mencionan en la consigna 3 consisten en relatos de pensadores y científicos de diferentes épocas, abordando el problema del origen de la vida, con las herramientas explicativas disponibles en cada momento histórico: “Popol Vuh”; “El pensamiento japonés”; “El pensamiento griego”; “La vertiente vitalista”; “La

Vamos a imaginar que somos estudiantes situados en un laboratorio escolar realizando una actividad experimental con la siguiente guía de trabajo:

Materiales a utilizar: 3 frascos de vidrio, gasa muy fina, un papel grueso o tapa metálica, carne vacuna o de pescado fresco, arena o aserrín húmedo para colocar en el fondo de cada frasco.

Procedimiento: 1) coloque un trozo de carne en cada frasco, 2) cubra uno de ellos con papel grueso o tapa metálica (frasco 1), 3) cubra otro frasco con la gasa muy fina y fíjela fuertemente, 4) deje destapado el tercer frasco (frasco 3), 5) Sitúe los tres frascos en un ambiente ventilado y expuesto a la visita de insectos, 6) realice observaciones periódicas completando una planilla similar a la siguiente (ayúdese con una lupa)

<i>Semana</i>	<i>Frasco 1</i>	<i>Frasco 2</i>	<i>Frasco 3</i>
<i>1ª semana</i>			
<i>2ª semana</i>			

¿Qué esperaríamos encontrar en cada frasco? ¿Cuál es, según su criterio, el por qué y para qué de este experimento? ¿Qué ideas o hipótesis subyacen a la experiencia? ¿Qué se llega a comprobar a partir de los resultados obtenidos?

El registro de las respuestas de los participantes se realizó a través de grabaciones de audio de las discusiones grupales. Luego se procedió a su transcripción por escrito y al análisis del mapa de razonamiento seguido por los participantes a partir de la respuesta a cada uno de los ítems de la actividad.

3.3.1 La hipótesis inicial

La primera instancia de discusión, reveló el centramiento de los participantes en la constatación de cambios observables de naturaleza cualitativa en la materia. Las predicciones refirieron principalmente a los datos o evidencias que proporcionarían los órganos de la visión y el olfato, recuperando experiencias previas de la vida cotidiana como ilustración.

No se reflexionó acerca de los interrogantes y objetivos que orientaban la búsqueda o la razón de ser de las variaciones en las condiciones de observación. La hipótesis inicial terminó siendo formulada desde una posición egocéntrica que redefine los procesos de descomposición en términos de resultados que afectan las posibilidades de consumo humano del alimento en cuestión.

Ej.: “¿Ej.:”Se hace como una película, como una babita... viste cuando dejás un bife dos o tres días en la heladera... Claro, en la superficie se pone oscura y seca, pero en la parte donde tiene doblez se pone verde o grisácea...”

3.3.2 Una observación de contraste

El segundo momento de la discusión incorporó la comparación entre los cambios probables de las muestras bajo diferentes condiciones. Esta nueva instancia brindó la posibilidad de reflexionar acerca de la aparición de organismos en la materia en estudio. Ello reforzó el posicionamiento egocéntrico conduciendo a reformular la hipótesis de la descomposición desde la noción de contaminación, desdibujándose la variable biológica “medio de vida” que sustenta la experiencia.

Además el modo de proceder descrito revela un abordaje paso a paso que impedía avanzar hacia una visión de conjunto que restituyera el sentido al diseño experimental.

Ej.: “Manda olor, tienen mayor acceso los insectos que se depositan sobre él, contaminándolo...”

3.3.3 La segunda hipótesis

En el tercer momento de discusión, se incorporaron nuevos conocimientos que permitieron la consideración de nuevas variables. Ello condujo a la formulación de una nueva hipótesis: los procesos de consumo por parte de los organismos referidos tienen un efecto de “limpieza” sobre la materia. Esta interpretación daba cuenta de una comprensión de sentido común acerca de los procesos de reproducción y nutrición involucrados. No era posible aún pensar a los fenómenos implicados desde una visión evolutiva y sistémica, diluyendo nuevamente las posibilidades de aproximación al núcleo de sentido de la experiencia.

Ej.: Yo lo que diría acá es que la materia se conserva, si bien se descompone... en cambio en el frasco destapado la consumen!! Se puede tomar desde dos perspectivas: esa materia le sirve de alimento al bichito y por otro lado, el bichito limpia el lugar....”

3.3.4 Refuerzo de hipótesis coexistentes

El cuarto momento de discusión se destinó a la reflexión acerca del por qué y para qué de la experiencia, así como las hipótesis subyacentes al diseño. Los aportes de los participantes no hicieron sino reforzar las hipótesis ya formuladas. Además, las valoraciones de los docentes se elaboraron desde su lugar de enseñantes, no logrando tomar la necesaria distancia del protocolo de laboratorio para su evaluación.

De todos modos, la discusión progresó con la incorporación de nuevos conocimientos, - incluso de otras áreas disciplinares – refiriendo a conceptos o dimensiones más complejas no consideradas aún. Estos aportes fueron finalmente ignorados tras la asunción de un desconocimiento generalizado al respecto.

Ej.: “A mí se me ocurre que el experimento es para reafirmar los contenidos. Para, a través de la observación, comprender los cambios en la materia orgánica Y valorar formas de conservación de alimentos.”

3.3.5 Nuevos sentidos para la enseñanza

El quinto momento consistió en la lectura de textos diversos sobre la construcción histórica de

interpretaciones acerca del problema abordado en el diseño experimental. La posibilidad de acceder a este nuevo aporte no condujo a los docentes a cuestionar explícitamente las hipótesis discutidas, pero lograron identificar la pregunta-problema que atraviesa todos los textos, reconociéndola incluso en el relato contextualizado del diseño experimental que acaban de analizar.

Además, una nueva discusión aportó significados más complejos y potentes acerca del sentido del trabajo práctico de laboratorio en la Enseñanza de las Ciencias.

“... porque mediante la metodología experimental se desarrollan actitudes científicas de indagación, observación sistemática, formulación de hipótesis, inclusión de variables que promuevan la búsqueda del fundamento y la explicación científica. A través de la realización de actividades, de aciertos, errores, se llega a un resultado o producto final. También nos llevan a preguntarnos cómo nacen nuevos seres vivos y se desarrollan en el ambiente natural y que hay diversas explicaciones y corrientes de pensamiento acerca del origen de los mismos, lo que nos lleva a ampliar lo experimental en otros campos y espacios históricos, sociales, culturales”.

4. CONCLUSIONES

Nos hemos propuesto abordar la gradualidad que - en términos de resistencias y movilizaciones - opera en la evolución de los saberes docentes en el marco de estrategias de formación situadas. En esta oportunidad, hemos analizado una propuesta para la resignificación histórica, epistemológica y didáctica de la actividad experimental en la Ciencia y su enseñanza.

En función del análisis desarrollado, introducir la Historia en la reflexión metacientífica se presenta como una herramienta potente para la construcción de una visión de Ciencia evolutiva y recursiva, restituyendo su anclaje socio-cultural y revalorizando una perspectiva sistémica, que integra las articulaciones método-teoría, las relaciones entre áreas de conocimiento y sus componentes heurístico, interpretativo y creativo.

Por su parte, los núcleos de reflexión didáctica en actividades de transposición y metarreflexión, han contribuido al reconocimiento del valor educativo de los procesos de contextualización, formulación de hipótesis, diseño de estrategias y argumentación para el abordaje de problemas abiertos en el laboratorio escolar.

Creemos que estas construcciones son puntos de partida esenciales para superar la clásica dicotomía entre cultura humanista y cultura científica, avanzando asimismo hacia una perspectiva de cambio conceptual respecto de la experimentación en proyectos didácticos para la enseñanza de Ciencias.

AGRADECIMIENTOS

Los autores recibieron apoyo financiero del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y el trabajo se realizó bajo el marco del Programa de Investigaciones Interdisciplinarias para el Aprendizaje de las Ciencias, subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica (SECyT) de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÚRIZ BRAVO, Agustín; PERAFÁN, Gerardo y BADILLO, Edelmira. Una propuesta para estructurar la enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de Ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias* **20**(3): 465-476, 2002.
- AIKENHEAD, Glen. What is STS science teaching? Pp. 47-59, *in*: SOLOMON, Joan y AIKENHEAD, Glen (Eds.) *STS education: International perspectives on reform*. New York: Teachers Collage Press, 1994.
- BARCENAS, Alicia y ARTIS, Mireia. *Introducción al Método Científico en Biología*. Cuba: Consejo Nacional para la enseñanza de la Biología, 1987.
- CARRASCOSA, Jaime; GIL PÉREZ, Daniel; VILCHES; Amparo y VALDÉS, Pablo. Papel de la actividad experimental en la Educación Científica. *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23** (2): 157-181, 2006.
- FERNÁNDEZ, Isabel; GIL, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; CACHAPUZ, Antonio y PRAIA, Joao. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* **20** (3): 447-488, 2002.
- FERNÁNDEZ, Isabel; GIL, Daniel; VILCHES, Amparo; VALDÉS, Pablo; CACHAPUZ, Antonio; PRAIA, Joao y SALINAS, Julia. El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* **2**(3): 331-352, 2004².
- GARCÍA MARTÍNEZ, Alvaro; DEVIA, Rodrigo y DÍAZ GRANADOS, Sandra. Los trabajos prácticos en la enseñanza de las Ciencias. Pp. 91-114, *in*: ADÚRIZ BRAVO, Agustín; PERAFÁN, Gerardo y BADILLO, Edelmira (eds.) *Actualizaciones en didáctica de las Ciencias Naturales y las Matemáticas*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 2002.
- GIL PÉREZ, Daniel. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias* **12** (2): 154-164, 1994.
- POZO, Juan Ignacio. *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Ediciones Morata, 2001.
- QUINTANILLA, Mario; IZQUIERDO, Mercé y ADÚRIZ BRAVO, Agustín. Avances en la construcción de marcos teóricos para incorporar la historia de la ciencia en la formación inicial del profesorado de Ciencias Naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra. VII Congreso 1, 2005.
- RIVAROSA, Alcira. *Aprendiendo a enseñar: La reflexión histórica y epistemológica en la formación de formadores*. Colección de Cuadernos de Prácticas. N° 3. Río Cuarto: Universidad Nacional de Río Cuarto, 2009.
- SOLBES, Jordi y VILCHES, Amparo. Las interacciones CTS en los nuevos textos de la Enseñanza Secundaria. Pp. 142-147, *in*: BANET, Enrique y DE PRO, Antonio (Eds.): *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Volumen I. Murcia: Universidad de Murcia, 1997.

² Disponible: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>. Acceso en : 10 de abril de 2013.

DIVULGAÇÃO DO EPISÓDIO DA EXPEDIÇÃO DO FRANCÊS PIERRE COUPLET EM AULAS DE FÍSICA NO PROEJA

Cassiana Barreto Hygino Machado*
Marília Paixão Linhares**

Resumo: Esta pesquisa apresenta os resultados de uma experiência didática realizada em aulas de física com alunos da educação de jovens e adultos em formação profissional. Utilizamos como estratégia de ensino um estudo de caso aliado ao episódio histórico da expedição de Pierre Couplet ao Brasil em 1698. O objetivo da pesquisa foi analisar se a integração entre estudos de caso e episódios históricos permite a compreensão adequada de conceitos científicos e possibilita reflexões sobre o processo de construção da ciência. A análise indicou que a proposta didática adotada favoreceu a aprendizagem de conceitos relacionados ao pêndulo simples de forma rica e significativa, a aquisição de habilidades essenciais para a formação cidadã, permitiu a valorização da cultura científica nacional e a problematização de visões sobre a ciência.

Palavras-chave: educação de jovens e adultos; episódios históricos; estudos de caso

THE HISTORICAL EPISODE OF THE PIERRE COUPLET'S EXPEDITION IN PHYSICS CLASSES FOR YOUTH AND ADULTS

Abstract: This work presents results from a didactic experiment developed in physic classes for students of the educational program for young people and adults in vocational training. As teaching strategy, it was used a case study about the historical episode of the Pierre Couplet's expedition to Brazil in 1698. The objective of this research was to determine whether the method of case studies combined with historical episodes allows a proper understanding of scientific concepts and offers opportunities for reflecting on the process of building science. The analysis indicates that the teaching experiment was adequate to promote (a) the learning of basic concepts related to simple in a rich and meaningful form, (b) the acquisition of essential skills for citizenship training, (c) the appreciation of national scientific culture and (d) the questioning of views about science.

Key-words: Youth and Adult Education; historic episode; case studies

* Estudante de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Avenida Alberto Lamego, 2000 - Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, 28013-602, Brasil, Correio Eletrônico: cacahygino@yahoo.com.br

** Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Avenida Alberto Lamego, 2000 - Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ., 28013-602, Brasil, Correio Eletrônico: paixaoli@uenf.br

1. INTRODUÇÃO

A aproximação da História e Filosofia da Ciência (HFC) ao ensino de ciências, na educação básica, é hoje considerada um caminho para promover aulas mais interessantes, desafiadoras e reflexivas, contribuir com a humanização das ciências e favorecer a formação de cidadãos críticos (Matthews, 1995, p. 165). Além de possibilitar a aprendizagem adequada de conceitos científicos (Pietrocola, 2003, p. 134) e uma melhor compreensão da ciência e de sua natureza (Allchin, 2010, p. 28).

Considerando a necessidade de mudanças no currículo de ciências e a contribuição da HFC, planejamos uma proposta didática para educação de jovens e adultos em formação profissional, baseada na articulação de um episódio histórico (Martins, 2006, p. 17), com o método de estudo de caso (Linhares & Reis, 2008, p. 568) com apoio de um recurso didático virtual denominado Espaço Virtual de Aprendizagem (EVA)¹ (Reis & Linhares, 2010, p. 133). Sob esta perspectiva de integração, elaboramos um estudo de caso histórico (Stinner *et al.*, 2003, p. 624) sobre o episódio da expedição do francês Pierre Couplet à Paraíba, em 1698, no Brasil colonial².

2. AMBIENTE DE INVESTIGAÇÃO: PÚBLICO ALVO E ESTRATÉGIA DE ENSINO

O Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos (PROEJA) foi criado com o objetivo de oferecer aos jovens e adultos a possibilidade de concluírem o ensino médio conjuntamente com um curso técnico que os habilite a uma profissão técnica de nível médio. Para fomentar pesquisas acadêmicas nesta recente modalidade de ensino, foram financiados projetos de pesquisa, selecionados através de edital³. Cada um dos projetos foi concebido em parceria entre Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (IF), que deveriam possuir cursos PROEJA, e Institutos de Ensino Superior (IES), com cursos de pós-graduação *stricto sensus*. Inserimo-nos como promotores de um conjunto de práticas didático-pedagógicas para jovens e adultos em um dos projetos contemplados⁴, cujo objetivo era contribuir para transformar a escola em espaço de trabalho, pesquisa e formação em ciências.

Para nos posicionarmos como educadores que buscam promover um ensino de ciências mais crítico e reflexivo no ensino de jovens e adultos, adotamos o método de estudos de caso que se apresenta como uma estratégia de narrativas sobre situações enfrentadas, questões abertas e dilemas (Linhares e Reis, 2008, p. 568). Os estudos de caso proporcionam compreensão de fatos, valores e contextos presentes em sua narrativa, que pode ser uma narrativa histórica, baseada em um episódio histórico impregnado de conflitos e discussões de uma época (Stinner *et al.*, 2003, p. 624).

Com o objetivo de possibilitar a aprendizagem de conceitos científicos e reflexões sobre a ciência introduzimos a discussão histórica nas aulas de física do público do PROEJA, viabilizada pela articulação de episódios históricos com o método de estudo de caso. A estratégia de

¹ Disponível em: <http://www.uenf.t5.com.br>

² Neste trabalho, chamaremos de Brasil colonial o território americano denominado América Portuguesa, que esteve sob domínio socioeconômico e político de Portugal até o início do século XIX.

³ PROEJA-CAPES/SETEC nº 03/2006

⁴ Educando Jovens e Adultos para Ciências com Tecnologias de Informação e Comunicação (Linhares & Reis, 2006, p.3).

utilização de episódios históricos tem sido uma das abordagens mais valorizadas nos últimos anos (Forato, 2009, p. 78), pois permite estudar minuciosamente um fato de uma determinada época, favorecendo a percepção do processo de construção da ciência e o maior entendimento de conceitos científicos envolvidos (Hygino, 2011, p. 86).

3. UM ESTUDO DE CASO SOBRE A EXPEDIÇÃO DO FRANCÊS PIERRE COUPLET À PARAÍBA NO SÉCULO XVII

A partir do aporte teórico apresentado, procuramos selecionar um episódio histórico que apresentasse os seguintes elementos: (i) tratasse de temas controversos e discussões em torno de um problema científico de uma determinada época, que possibilitassem a formação de uma visão de ciência como uma construção histórica; (ii) contivesse alguma relação com o Brasil, pois acreditamos que discutir episódios da atividade científica realizados no Brasil pode contribuir com a valorização da cultura científica nacional (Santos Neto & Pietrocola, 2005, p. 3) e (iii) versasse sobre o tema de física do semestre em que seria realizada a intervenção, a física ondulatória.

A partir destes critérios selecionamos o episódio da expedição do francês Pierre Couplet ao Brasil em 1698, que utilizou um relógio de pêndulo para fazer medições da aceleração gravitacional local. Acreditamos que o episódio poderia promover o aprendizado mais significativo e rico dos estudantes, relacionados aos conceitos envolvidos no movimento do pêndulo. Segundo Matthews (2001, p. 20), o estudo do pêndulo simples “é encontrado em quase todos os currículos do mundo e em geral é apontado como chato”. Iniciativas têm sido realizadas para tornar mais enriquecedor o estudo do movimento pendular, como o *The International Pendulum Project* (IPP), que representa o esforço de dezenas de pesquisadores em vários países, com o objetivo de aprofundar o estudo histórico e contribuir com a aprendizagem de conceitos científicos, favorecendo a formação de visões críticas sobre ciência na sociedade e na cultura (Matthews; GAULD & STINNER, 2004, p. 261).

Para o estudo do episódio, nos referenciamos em fontes históricas secundárias fruto dos trabalhos publicados por Moreira (1991, 2003) sobre a expedição de Couplet. O episódio está situado nas discussões ocorridas no fim do século XVII a respeito do formato da terra. A dúvida consistia em determinar se ela era alongada nos polos, como defendiam os cientistas franceses, ou achatada como sustentava a teoria newtoniana. Esta discussão, somada a outras que ocorriam na mesma época, motivaram a realização de várias expedições científicas, que tinham como principal objetivo obter medidas sobre a aceleração gravitacional, em diferentes pontos da Terra (Moreira, 1991, p. 23). Entre as expedições, uma ocorreu à Paraíba, no Brasil (próximo à linha do equador), em 1698, liderada pelo francês Pierre Couplet, que por meio de um relógio de pêndulo, realizou medições da aceleração gravitacional no local (Moreira, 2003, p. 1). Na Paraíba, Couplet regulou o seu relógio de acordo com o movimento médio do sol. Provavelmente ele mediu o número de oscilações do pêndulo comparando-o ao número de segundos num dia solar (iniciando e finalizando ao meio dia) ou num dia sideral, ou em períodos menores. A seguir, apresentamos a descrição de Couplet sobre sua medição na Paraíba.

Quando cheguei à Paraíba, no mês de março de 1698, meu primeiro cuidado foi o de regular meu relógio e colocá-lo exatamente de acordo com o movimento médio (do sol), tanto para conhecer a

diferença do comprimento do pêndulo, como para me preparar para fazer as observações dos satélites de Júpiter para determinar a longitude desta vila. De início, coloquei meu pêndulo no estado em que ele se encontrava quando parti de Paris, e o movimente; descobri que atrasava, de seu movimento médio, 4 min 12s a cada 24 horas. Encurtei, portanto, o pêndulo várias vezes e, após regulá-lo em relação ao movimento médio, achei que o pêndulo devia ser mais curto na Paraíba do que em Paris de 3 linhas e dois traços. Couplet, 1700, p. 175 *apud* Moreira, 1991, p.27.

As medidas obtidas por Couplet na Paraíba, juntamente com outras obtidas em expedições a outras partes do globo, foram incluídas por Newton em uma nova edição dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, em 1713, sendo que as medições de Couplet estão presentes na proposição XX do livro III. As medições ajudaram a reforçar as previsões de Newton acerca do formato da Terra, contrariando as afirmações dos cartesianos franceses (Moreira, 1991, 2003).

A partir do episódio histórico selecionado construímos um texto para o estudo de caso tomando como base as orientações de Stinner et al. (2003, p. 620), que propõem uma estrutura em três partes: (i) contexto histórico; (ii) experimento(s) e ideias principais; (iii) implicações para a alfabetização científica e o ensino de ciências. O texto do estudo de caso produzido é apresentado no quadro 1.

Quadro 1: Texto do estudo de caso.

Desde muito tempo atrás o homem vem se interessando em medir fenômenos que acontecem com frequência ou que se repetem. A medida do tempo é um bom exemplo disso. Diversos instrumentos para medir o tempo foram desenvolvidos como: o relógio de sol, relógios d'água, ampulhetas, relógios de pêndulos até chegar aos nossos relógios atuais. O relógio de pêndulo, em especial, além de utilizado para medir o tempo também foi importante para comprovar a teoria de Newton a respeito do achatamento da Terra nos polos. Para Newton, um pêndulo que batesse o segundo em Paris sofreria um atraso quando fosse levado para as proximidades do equador. Por isso, o pêndulo passou a ser usado em experiências realizadas em vários pontos da Terra para se medir a variação da aceleração gravitacional com a latitude. Foram feitas diversas observações a fim de comprovar a teoria de Newton e uma delas foi realizada aqui no Brasil por Pierre Couplet. Couplet nasceu na França tornou-se professor de matemática e mais tarde membro da Academia Francesa de Ciências. Couplet na tentativa de comprovar a Teoria de Newton viajou para a Paraíba, no Brasil, em 1698, com um relógio de pêndulo a fim de verificar se este atrasava próximo ao Equador como previa a Teoria de Newton. Suas medições foram incluídas por Newton em sua obra *Principia*, no volume III da edição de 1713. Com base no episódio apresentado, convidamos você a refletir sobre: a importância das medições feitas por Couplet para a ciência brasileira, e o que influencia o movimento do pêndulo.

A proposta didática foi desenvolvida conforme a orientação teórica apresentada, ocorrendo ao longo de sete semanas, em inserções semanais de 45 minutos nas aulas de física, de uma turma do período noturno do curso técnico de eletrônica do PROEJA, de um IF. A primeira autora deste trabalhou atuou como professora durante as sete semanas em horários cedidos pela professora titular da turma. Participaram do trabalho todos os oito alunos que frequentavam essa turma. Eram quatro homens e quatro mulheres com idades que variavam entre 18 e 50 anos. Três tinham filhos e todos trabalhavam durante o dia.

Durante o trabalho os estudantes foram orientados a responder à questão levantada pelo estudo de caso. Eles deveriam percorrer uma sequência de três passos característicos do processo didático, utilizando o ambiente virtual como recurso didático. No primeiro passo

deveriam ler o texto do estudo de caso e elaborar uma resposta expondo suas ideias iniciais. No segundo passo deveriam elaborar uma resenha de um texto pré-selecionado e disponibilizado no ambiente virtual. E no terceiro passo deveriam encaminhar suas respostas finais, incorporando elementos das leituras e discussões realizadas. Os passos eram corrigidos pela professora pesquisadora e a interação com os estudantes ocorria no EVA, com orientações para modificações ou não de suas respostas (Linhares & Reis, 2008, p. 561).

Neste período os alunos tiveram oportunidade de realizar atividades propostas e participar de debates em sala de aula. Nos debates predominaram o diálogo, a argumentação e discussões entre os estudantes e o professor. As atividades apresentaram um caráter investigativo, visto que privilegiavam as leituras, as reflexões e busca de soluções para questões que surgiam durante o estudo, estimulando assim a aprendizagem e ultrapassando um modelo tradicional de ensino centrado na figura do professor.

A execução das atividades relacionadas ao estudo de caso foi conduzida ao longo das sete semanas da seguinte forma: na primeira semana a proposta didática foi apresentada e os alunos desafiados a responder ao primeiro passo do estudo de caso, com suas ideias iniciais. Após submeterem suas respostas houve um momento de discussão entre os alunos e a professora, no qual os estudantes puderam dialogar sobre o episódio, questionar a respeito do formato da Terra e destacar o fato de a expedição ter sido realizada no Brasil. No fim da aula, textos foram disponibilizados no ambiente virtual e indicados para leitura.

Na semana seguinte elegemos o texto de Moreira (2003) para leitura e discussão em sala de aula, possibilitando problematizar questões destacadas pelos alunos como: o formato da Terra e as oposições de ideias entre as linhas francesa e newtoniana. Neste contexto, foi possível enfatizar a presença de controvérsias no processo de construção do conhecimento científico. Além disso, foi destacada a questão da existência de diferentes teorias sobre o formato da Terra anteriores as experimentações, demonstrando que as teorias precederam os experimentos científicos. Foi enfatizado também que os experimentos realizados forneceram novos dados para os debates entre os defensores das duas teorias e ofereceram evidências a favor da teoria newtoniana.

Na terceira semana o foco da discussão recaiu na pergunta do estudo de caso, isto é, qual a importância das medições feitas por Couplet para os estudos da época. Nos debates foi destacada a importância do trabalho coletivo para o desenvolvimento de teorias científicas, buscando desmistificar a ideia de produções isoladas.

A quarta semana foi dedicada exclusivamente para os estudantes escreverem suas resenhas (passo 2) e a submeterem seus textos no módulo de estudo de caso do EVA. Na quinta e na sexta semanas a ênfase recaiu sobre o estudo de conceitos físicos relacionados ao período de oscilação do pêndulo. Foram analisadas as descrições de Couplet sobre suas medições, explorando o fato de que o período de oscilação do pêndulo é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional a aceleração gravitacional. A partir destas discussões os estudantes perceberam que valores da aceleração gravitacional podem variar de acordo com a posição geográfica em que a medida é realizada.

A sétima e última aula foi dedicada ao encerramento do estudo de caso. Os alunos escreveram e submeteram suas soluções (passo 3) que foram corrigidas pela professora e comentadas com os alunos, através do EVA.

4. A PESQUISA: INSTRUMENTO, COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Adotamos em nosso trabalho a pesquisa qualitativa, utilizando a abordagem de uma pesquisa-ação, que envolve um plano de ação baseado nos objetivos estabelecidos e um processo de acompanhamento e controle da ação planejada (André, 2007, p. 33). Os textos produzidos pelos estudantes no EVA durante a condução do estudo de caso constituem-se nos dados desta pesquisa e são nosso objeto de análise.

Para avaliar se os alunos se apropriaram de novas informações e se houve mudança de concepções, submetemos os textos definidos a uma análise de conteúdo constituída por três etapas: (i) pré-análise; (ii) exploração do material (codificação e categorização) e (iii) tratamento dos resultados (inferência e interpretação) (Bardin, 2009, p. 20).

5. RESULTADOS

Os resultados decorrentes da utilização do estudo de caso foram gerados através da análise de conteúdos dos textos dos estudantes nos passos inicial e final do estudo de caso. Após as leituras dos textos produzidos pelos alunos, recortamos unidades de significação (US) e as agrupamos em categorias. As categorias foram divididas, de acordo com os objetivos do estudo de caso, em três partes, nas quais apresentavam as visões dos estudantes sobre conceitos relacionados ao movimento do pêndulo simples, a cultura científica nacional e sobre a ciência. Alertamos que podem existir US em maior ou menor quantidade que o número de alunos da pesquisa, visto que as respostas de alguns alunos poderiam ser agrupadas em mais de uma categoria ou o aluno pode não ter se manifestado sobre o assunto.

Para preservar as identidades dos oito estudantes participantes os chamaremos de A, J, K, M, N, P, R e S.

5.1 Conceitos relacionados ao movimento do pêndulo simples

O primeiro alvo de nossa análise esteve em identificar o que os alunos imaginavam que influenciaria o movimento do pêndulo simples.

A tabela 1 apresenta as categorias geradas e o número de US contidas em cada uma delas.

Tabela 1- categorias geradas sobre o movimento do pêndulo.

Categorias do passo inicial (US)	Categorias do passo final (US)
O movimento do pêndulo é influenciado pela gravidade (2)	O movimento do pêndulo é influenciado pela gravidade e pelo comprimento (5) O movimento do pêndulo tem a ver com o ângulo de deslocamento (1)

No passo inicial houve apenas uma categoria correspondente às falas de dois alunos. Estes alunos destacaram que o movimento do pêndulo tem a ver com a gravidade, porém não conseguiram desenvolver argumentos que justificassem tal influência, como por exemplo, na fala do aluno A: “o motivo seria a gravidade?”. Esta fala mostra que os alunos não tinham certeza se era realmente a gravidade que influenciava o movimento do pêndulo simples.

Os outros alunos não conseguiram formular uma explicação com argumentos físicos para o movimento do pêndulo e tentaram descrever o seu movimento relacionando a sua constituição, como é exemplificado na fala do aluno S: *“acredito que é um objeto que oscila em torno de um ponto fixo, pois nele consiste um cordão amarrado num peso que oscila”*. As falas destes alunos demonstram como é complexa a compreensão de conceitos físicos. Para Pietrocola (2003, p. 137), é fundamental que os alunos possam discutir e refletir sobre os processos que levaram a formulação de conceitos científicos.

No passo final, após as leituras e discussões em sala, percebemos que grande parte dos alunos conseguiu compreender os fatores que influenciam o movimento do pêndulo, ou seja, a partir da aceleração da gravidade e do comprimento (Moreira, 2003, p. 1), como por exemplo, na fala do aluno N: *“A influência no movimento do pêndulo era o comprimento e a gravidade”*. Ao formularem suas respostas os estudantes tentaram explicar o movimento do pêndulo relacionando ao experimento realizado por Couplet, demonstrando dessa forma, que o estudo minucioso de trabalhos científicos favorece o entendimento de conceitos, promovendo assim, uma aprendizagem que traz significado aos alunos (Martins, 2006, p. 17).

Na última categoria, um aluno relacionou o período de oscilação do pêndulo com o ângulo de deslocamento. Admitimos que esse ponto não foi enfatizado durante o estudo. Acreditamos que o aluno tenha buscado esta informação em suas pesquisas. Consideramos este evento fundamental para a formação do aluno, ao desenvolver a capacidade de pesquisar e buscar explicações (Reis & Linhares, 2010, p. 140).

5.2 Visões sobre a cultura científica nacional

O segundo alvo de nossa análise esteve em identificar a visão dos estudantes sobre a cultura científica brasileira. O trabalho com episódios ocorridos no Brasil teve como objetivos tornar a ciência mais próxima dos alunos e contribuir com a valorização da cultura científica nacional. A tabela 2 apresenta as categorias geradas e o número de US contidas em cada uma delas.

Tabela 2 - categorias geradas sobre a importância da ciência do Brasil.

Categorias do passo inicial (US)	Categorias do passo final (US)
Reconhecimento dos trabalhos de Couplet realizados no Brasil para o desenvolvimento da ciência (1)	Reconhecimento dos trabalhos de Couplet realizados no Brasil para a produção científica mundial (4) Reconhecimento dos trabalhos de Couplet realizados no Brasil para a elaboração de uma teoria científica (2)

A única categoria gerada no passo inicial é representada pela fala do aluno M: *“As pesquisas feitas por Pierre em nosso país foram importantes para nós porque ele focou em uma experiência científica de grande importância”*. Notamos que o aluno considera relevante conhecer trabalhos que foram realizados no Brasil em outras épocas. Mesmo sabendo que a escolha do Brasil foi devido à proximidade com a linha do Equador, acreditamos que a abordagem de episódios científicos realizados no Brasil proporciona o enriquecimento cultural aos estudantes e contribui com a curiosidade sobre as pesquisas científicas desenvolvidas no Brasil (Santos Neto, 2007, p. 20).

Alguns alunos demonstraram curiosidade e interesse pelo assunto, como por exemplo, a

fala do aluno A: “acredito veementemente que ele não ficou detido apenas na missão do pêndulo”. Santos Neto (2007, p. 8) destaca que incluir aspectos da cultura científica local é uma oportunidade de aguçar a curiosidade do aluno, despertando o interesse. Outros alunos discutiram se existia ou não ciência no Brasil naquela época, como por exemplo, na fala do aluno A: “quem imaginaria que em tempos tão primórdios havia ciência em desenvolvimento neste nosso país” e na fala do aluno P: “Há muitos anos atrás já deveria ter cientistas que faziam pesquisa no Brasil”. Notamos que, apesar do episódio de Couplet não tratar de um cientista brasileiro, a inclusão de episódios científicos que ocorreram no Brasil promove momentos de debates e reflexões sobre a cultura científica brasileira entre os estudantes, contribuindo com visões mais críticas sobre a ciência produzida no Brasil.

No passo final, quatro alunos destacaram que os estudos realizados por Couplet no Brasil, foram relevantes para a ciência mundial, como exemplo, a fala do aluno P: “Os estudos de Couplet foram muito importantes para nós brasileiros, ele descobriu muitas coisas que nos ajudou e ajudou também a outros países”. Notamos que os alunos atribuem importância ao fato ter ocorrido no Brasil devido a consequências geradas e as possíveis aprendizagens dos estudiosos brasileiros da época.

Dois alunos ressaltaram que a experiência realizada por Couplet no Brasil contribuiu com a teoria de Newton, como na fala do aluno R: “A importância para o Brasil na ciência foram às medidas realizadas por Couplet que inseriam em um amplo programa experimental, com o objetivo de verificar as previsões da teoria Newtoniana da gravitação relativa da Terra”. Nesta fala, os alunos demonstraram acreditar que os trabalhos de Couplet permitiram que o Brasil se inserisse no desenvolvimento científico da época. Esta visão ainda é reforçada pela fala do aluno N: “Havia várias discussões se teria ciência no Brasil”. Acreditamos que estes alunos fizeram interpretações equivocadas, pois a iniciativa de utilizar episódios ocorridos no Brasil visava proporcionar motivação para a aprendizagem de ciência e valorizar a cultura científica nacional.

5.3 Visões sobre a ciência

O terceiro alvo de nossa análise esteve em identificar as visões dos alunos sobre a ciência. As categorias geradas nos dois momentos estão apresentadas na tabela 3, bem como o número de US contida em cada categoria.

Tabela 3 - categorias geradas sobre as visões de ciência.

Categorias do passo inicial (US)	Categorias do passo final (US)
Visão anacrônica da ciência (5)	Visão coletiva da ciência (5)
Visão socialmente neutra da ciência (2)	Visão da gradativa da ciência (4)
Visão acumulativa da ciência (2)	

No passo inicial, destacamos cinco US de quatro alunos que acreditavam que na época da expedição de Couplet não existia tecnologia suficiente para o avanço da ciência, como na fala do aluno K: “Na realidade já seria um avanço muito grande para aquela época, até porque não havia a tecnologia para ter um melhor estudo”. Esta concepção expressa uma visão anacrônica da ciência, ou seja, olha-se para o passado com olhos do presente. Os alunos não

conseguiram perceber que a tecnologia desenvolvida até aquele momento era pertinente com as práticas científicas realizadas no período (Forato, 2009, p. 20).

Na fala de dois alunos encontramos marcas de concepções de que a ciência não tem relação com fatores sociais, sendo pensada como algo atemporal e desvinculada de atividades humanas. Na fala do aluno R: “na verdade, eu acredito que a ciência sempre existiu porque a ciência faz parte da natureza”, percebemos que o aluno compreende a ciência como a própria natureza, acreditando que o homem desvenda a ciência na natureza e não a constrói a partir de seus pressupostos teóricos, desvinculando, dessa forma, a ciência de um contexto sócio-cultural (Gil-Pérez *et al.*, 2001, p. 133).

A terceira e última visão que identificamos no passo inicial do estudo de caso estava nas respostas de dois estudantes. Eles entendiam que invenções tecnológicas do presente são fruto de evoluções de invenções e descobertas do passado e que, por consequência, poderíamos esperar muitos outros avanços tecnológicos no futuro. Esta visão de que a ciência e a tecnologia evoluem de maneira linear demonstrou que os alunos possuíam uma visão acumulativa do trabalho científico, a qual, segundo Gil-Pérez e cols. (2001, p. 135), ignora as crises e revoluções profundas na atividade científica.

No passo final, cinco alunos responderam que as discussões e controvérsias foram relevantes para o desenvolvimento da ciência. Esta visão, considerada adequada, demonstra que os alunos perceberam que o processo de construção da ciência ocorre gradualmente, através de debates e críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais (Gil-Pérez *et al.*, 2001, p. 134).

Em outra categoria, quatro alunos comentaram sobre a importância do trabalho coletivo para a construção do conhecimento científico, conforme destacou o aluno A: “Pude perceber então que a ciência depende de muitos profissionais”. Percebemos que os alunos demonstraram considerar o caráter coletivo da ciência, desmistificando a ideia de gênios e aceitando que o conhecimento é construído de forma lenta, por meio de várias contribuições, que desempenharam papel fundamental na elaboração de teorias e leis (Gil-Pérez *et al.*, 2001 p. 133).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise realizada, percebemos que os alunos conseguiram compreender que o período de oscilação do pêndulo simples se relaciona com a gravidade e com seu comprimento (Moreira, 2003, p. 1). Notamos que a estratégia adotada para estudar conceitos científicos relacionados ao movimento do pêndulo a partir do estudo das medições realizadas por Couplet com o relógio de pêndulo, se mostrou enriquecedora e trouxe mais significado para os alunos, ultrapassando um modelo tradicional de ensino que privilegia a repetição exaustiva de exercícios e a memorização de fórmulas que não trazem qualquer significado aos alunos.

O estudo do episódio histórico também favoreceu a percepção de que durante o processo de formação do conhecimento científico ocorrem discussões, debates e visões diferenciadas sobre um mesmo fenômeno, e que esse processo é fruto do trabalho coletivo e não de cientistas que produzem conhecimentos isoladamente (Martins, 2006, p. 17).

Percebemos que o estudo do episódio com fins científicos realizado no Brasil contribuiu para a reflexão dos estudantes sobre a cultura científica brasileira, permitiu tornar a ciência mais próxima dos estudantes ao tratar de uma experiência realizada em seu país,

proporcionando maior interesse e motivação nas aulas de física.

A experiência didática favoreceu o desenvolvimento de habilidades e atitudes adequadas à formação profissional, como por exemplo, buscar e pesquisar informações sobre as questões discutidas em livros e na Internet, realizar leituras, escrever resenha, se expressar oralmente e defender ideias. Além disso, os estudantes também puderam desenvolver habilidades para domínio da tecnologia computacional, a partir do uso do EVA. A utilização do EVA também permitiu que o professor pudesse ampliar os limites de sua sala de aula, pois as atividades que solicitava aos estudantes poderiam ser feitas em outros locais, que não a escola, rompendo assim, com algumas limitações de tempo e de espaço.

Podemos considerar com base na pesquisa realizada que a abordagem da história da ciência no ensino de física de jovens e adultos é enriquecida com o uso adequado de episódios históricos, de forma crítica e problematizadora, aliado ao método de estudos de caso. A proposta didática contribuiu para aprendizagem mais adequada de conceitos científicos, para o desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação cidadã dos estudantes e para problematizações de visões sobre o processo de construção da ciência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLCHIN, Douglas. From Rhetoric to Resources: New Historical Problem-Based Case Studies for Nature of Science Education. In: (IHPST-LA) INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY, AND SCIENCE TEACHING GROUP, 8, 2010, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010, p. 1-1.
- ANDRÉ, Marli. *Etnografia da prática escolar*. Campinas, SP: Papirus, 2007.
- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. 5. ed. Lisboa: edições 70, 2009.
- FORATO, Thaís. *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da natureza da luz*. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de São Paulo.
- GIL-PÉREZ, Daniel; MONTORO, Isabel; ALIS, Jaime; CACHAPUZ, António; PRAIA, João. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação* **7** (2): 125-153, 2001.
- HYGINO, C. B. M. *Uso de Episódios da História da Ciência em Aulas de Física no PROEJA*. Campos dos Goytacazes, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Laboratório de Ciências Físicas, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.
- LINHARES, Marília; REIS, Ernesto. Educando Jovens e Adultos para a Ciência com Tecnologias de Informação e Comunicação. Projeto de Pesquisa CAPES/SETEC/PROEJA, nov. 2006.
- . Estudos de caso como estratégia de ensino na formação de professores de física. *Ciência e Educação* **14** (3): 555-74, 2008.
- MARTINS, Roberto. Introdução: A história e seus usos na educação. Pp. 17-25, in: SILVA, Cibele (org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- MATTHEWS, Michael. História e Filosofia da Ciência: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense Ensino de Física* **12** (3): 164-214, 1995.
- . Metodologia e Política em ciência: o destino da proposta de Huygens de 1673 para

- adoção do pêndulo de segundos como um padrão internacional de comprimento e algumas sugestões educacionais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **18** (1), 7-25, 2001.
- MATTEWS, Michael ; GAULD, Colin ; STINNER, Arthur. The Pendulum: Its Place in Science, Culture and Pedagogy. *Science & Education* **13**: 261–277, 2004.
- MOREIRA, Ildeu. O Brasil nos Principia: Observações Astronômicas de Couplet na Paraíba. *Física na Escola* **4** (2) : p. 33-34, 2003.
- . A expedição de Couplet à Paraíba-1698. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **5**: 23-31, 1991.
- PIETROCOLA, Maurício. A História e a epistemologia no ensino de ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica. Pp. 133-149, in: ANDRADE, Ana, M. R. (org.). *Ciência em Perspectiva. Estudos, Ensaios e Debates*. Rio de Janeiro: MAST/SBHC, 2003.
- REIS, Ernesto; LINHARES, Marília. Ensino de Ciências com Tecnologias: um Caminho Metodológico no PROEJA. *Educação e Realidade* **35** (1): 129-150, 2010.
- ROUXINOL, Estevam dos Santos Neto. *Física no Brasil para o ensino médio: uma abordagem para compreensão da ciência e da atividade científica*. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- ROUXINOL, Estevam dos Santos Neto; PIETROCOLA, Maurício. Identificando o obstáculo cultural em aulas de física do ensino médio. In: V ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, novembro, 2005, Bauru. Anais..., Bauru: ABRAPEC, 2005, p. 1-12.
- STINNER, Arthur; MCMILLAN, Barbara; DON METZ; JILEK, Jana; KLASSEN, Stephen. The Renewal of Case Studies in Science Education. *Science & Education* **12**: 617–643, 2003.

STORY INTERRUPTED: USING HISTORY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN EVERYDAY INSTRUCTION

Don Metz*

Abstract: *Integrating history and philosophy of science and science teaching into everyday science teaching has been advocated by many educators for many years and there are indications that it would be welcomed by students. One means of accomplishing this goal is through the use of historical science stories. While the telling of a historical story has some interesting potential in itself we are advised to focus attention on some of the issues surrounding the implementation of science stories in the classroom from the student's perspective. In this paper, I advance a form of science story implemented in everyday instruction as an interrupted story intended to actively increase their intellectual engagement of students as they study science.*

Keywords: science education, science stories, history and philosophy of science, intellectual engagement

1. INTRODUCTION

In a recent, large scale educational study in Canada, developed through an initiative of the Canadian Education Association (CEA), researchers surveyed students to ask "What did you do in school today?". The study examined three dimensions of student engagement: social engagement defined as a sense of belonging and participation in school life, academic engagement which represented students' participation in the formal requirements of schooling, and intellectual engagement seen as a serious emotional and cognitive investment in learning using higher-order thinking skills (such as analysis and evaluation) to increase understanding, solve complex problems, or construct new knowledge.

Sadly, the study reported that only one-third of the students were intellectually engaged at school. Intellectual engagement was the lowest dimension across all grades and was generally about half of students' social and academic engagement. Moreover, the data indicated that intellectual engagement decreased steadily as students progressed from middle school to their senior years. That is, the longer students remained in school, the less likely they were to be intellectually engaged.

The first two dimensions, social and academic engagement are generally concerned with student involvement with activities, conditions, and institutional factors that are likely to facilitate learning. Many of these factors such as participation in school activities, sense of

* University of Winnipeg, Winnipeg, Manitoba, Canada. Email: d.metz@uwinnipeg.ca

belonging, attendance, family influences and attitudes, while considered valuable, are well researched (Dunleavy & Milton (2009) and are not addressed in this paper. The third dimension of intellectual engagement is much less researched, especially in terms of classroom practice, and “by contrast, is only beginning to be understood” (Willms; Friesen & Milton, p. 9, 2009) amid calls for further investigations into “the more ambitious goal of deep cognitive engagement that results in learning” (American National Research Council, 2003, p. 32) . Specifically, in terms of classroom practice, we might ask how can we better engage our students intellectually in learning science?

For many years, a reasoned response to the question of student engagement has been through the promotion of “hands-on science”. Abrahams (2007) notes that many teachers consider hands-on science as a means to stimulate and maintain student interest. However, even though we find that teachers possess a positive views towards hands-on activities and incorporate practical work into their instructional strategies in school science, many science educators have questioned the value of practical work the way it is used today. It has been described as unproductive and contributing little to the learning of science (Hodson, 1991), lacking sufficient time for interaction and reflection (Gunstone & Champagne, 1990), and needing intervention and negotiation (Driver, 1995).

In their study of the effectiveness of practical work, Abrahams and Millar (2008) found that in designing practical work teachers focussed on scientific knowledge and that

“Practical work was generally effective in getting students to do what is intended with physical objects, but much less effective in getting them to use the intended scientific ideas to guide their actions and reflect upon the data they collect. There was little evidence that the cognitive challenge of linking observables to ideas is recognized by those who design practical activities for science lessons” (Abrahams & Millar, 2008, p. 1945).

In other words, students could generate the data from the manipulation of physical objects to produce the intended phenomenon. However, in terms of the intended ideas related to the phenomenon the researchers reported that there was little to show that the practical work was effective in getting students to connect the domain of objects to the domain of ideas. Not surprisingly, almost all of the students’ recollections in subsequent interviews were in the domain of objects and observables.

Indeed, teachers planning reflected the achievements of their students as very little time was devoted by teachers to student interaction between ideas and objects. Many teachers utilized an inductive, discovery-based view of learning where the expectation was that ideas would emerge from the physical manipulations of objects. Michael Matthews (1994) has argued convincingly that teachers unfamiliarity with the history and philosophy of science prevents teachers from avoiding the naive claims discovery learning makes and he questions whether

“messing about with real objects can reveal the structure of the scientific theories that apply to those objects” (Matthews 1994, p. 28).

One only needs to consider the recipe-like format of laboratory manuals and support materials that teachers use in their teaching to realize that how we might go about linking the domains of objects and ideas is not very clear. Wellington (1998) suggests that it is ‘time for a

reappraisal' (p. 3) of the role of practical work in the teaching and learning of science and I would agree.

There are many reasons given for adapting history and philosophy of science (HPS) and science teaching to engage students intellectually. Historical perspectives naturally raise personal, ethical, sociological, philosophical and political concerns which tend to increase interest and motivation in students (Matthews, 1994; Meyling, 1997) and provide a context to address science in a humanistic tradition (Stinner, 1995). Importantly, historical approaches may connect the development of individual thinking with the development of scientific ideas. Students' ideas have been demonstrated to parallel historical concepts (Wandersee, 1985). Moreover, Matthews (1998) has suggested that appreciating where great minds had difficulty is a potential comfort to students unsure and afraid to express their own viewpoints and allows students to locate their concepts within an intellectual tradition (Matthews, 1994). Monk & Osborne (1997) have argued that the historical approach to the learning of scientific concepts should help students because their acceptance or opposition to scientific concepts is often for the same reasons as the original scientists and they argue

To comprehend the importance and significance of scientific ideas, it is essential to have some insight into the social context, the dominant forms of thinking, the numerous blind alleys of pursuit, and the difficulties of persuading others of the validity of any new theoretical interpretations. The study of scientific ideas in their original context of discovery will help to develop students' conceptual understanding" (Monk & Osborne, 1997, p. 409).

Further, they recommend the use of historical materials that will provide a means for students to examine scientist's beliefs, its evidential nature and interpretation. Matthews (1994) also reminds us that the history of science can suggest questions and experiments that promote appropriate conceptual change in students.

"Knowledge of the slow and difficult path traversed in the historical development of particular sciences can assist teachers planning the organization of a program, the choice of experiments and activities, and their responses to classroom questions and puzzles" (Matthews, 1994, pp. 51).

Thus, the historical perspective can be deemed useful not only in the learning process but in the teaching process. Klassen (2006) agrees, arguing that a historical perspective helps to uncover the vitality of investigation and creative invention that is lacking in school science.

Monk & Osborne (1997) suggest a reason that teachers fail to adopt historical approaches is because they lack confidence that the historical context adds any value to students' understanding of scientific knowledge and skills. However, I would argue that teachers also lack practical instructional strategies that would bring a historical perspective into their classrooms in a meaningful way. One such strategy, storytelling, has been advocated by a number of science educators (Wandersee, 1990; Klassen, 2009; Metz, et. al, 2007). Using storytelling, in an interrupted format, is one way to introduce the historical perspective into everyday instruction.

2. THE INTERRUPTED STORY FORM

One interesting approach to engaging storytelling is the “punctuated” or interrupted story form (Roach & Wandersee 1993). In the interrupted story form, a story is broken down into smaller vignettes that students reference between other student activities. Roach & Wandersee (1995) also describes an extension of the interrupted story as the interactive historical vignettes (IHV). IHVs are fictional stories based on historical episodes in a scientist’s life. The vignettes are used to promote discussion, including an understanding of the nature of science.

My preference is to expand upon the telling aspect of story to focus a little more, in an educational sense, on the receiver – the student. What are they doing? This is the interactive part of the storytelling whereby the reader constructs deeper meaning through active engagement with the narrative. The active engagement should involve students in the elicitation and manipulation of ideas as the learner becomes aware of early scientific thoughts as one viewpoint and examines alternative viewpoints and the evidential nature of scientific understanding.

There are many possible ways to organize narratives and integrate the interrupted story into everyday instruction. In the simplest sense, narrative can be presented in three stages, a beginning, a middle, and an end. Bal (1985) presents the narrative structure as a possibility, and event, and a resolution whereas Egan (1986) describes the stages as expectation, elaboration and compilation. There are many possibilities and each one should be assessed on its own merits. In the interrupted story, these stages are set out as character events, situations, problems, imbalances, discrepant events, confrontations, complications, dead ends, or setbacks.

However, each narration connects to an active engagement stage designed to mediate deeper understanding. The mediation may include such attributes as reflection, anticipation, predictions, inferences, comparisons, contrast, experimentation, or demonstration. There are also many opportunities for discussion of nature of science questions such as theory development and acceptance, subjective analysis, and how science progresses.

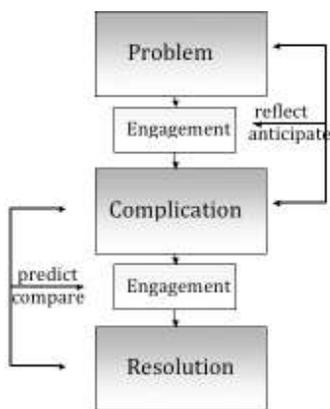


Fig. 1: Story Outline.

I have chosen my example to contrast the example described by Abrahams & Millar (2008) in their study. In their case, they describe a teacher's lesson using a hands-on activity to determine the effect the colour of a can has on its ability to absorb heat. Although the task involves scientific ideas it was taught entirely at the level of observables and the teacher expressed that the purpose of the activity was to enable the students to follow a given procedure, generate data from which the theoretical ideas of heat absorption and reflection could be dealt with in ensuing lessons. The researchers reported that all of the student discussion pertained to completing the task and student discussion only referred to observable details. As we can see, there were no opportunities for students to place the science in context, to make connections between the domains of objects and ideas, or to consider theoretical models of explanation.

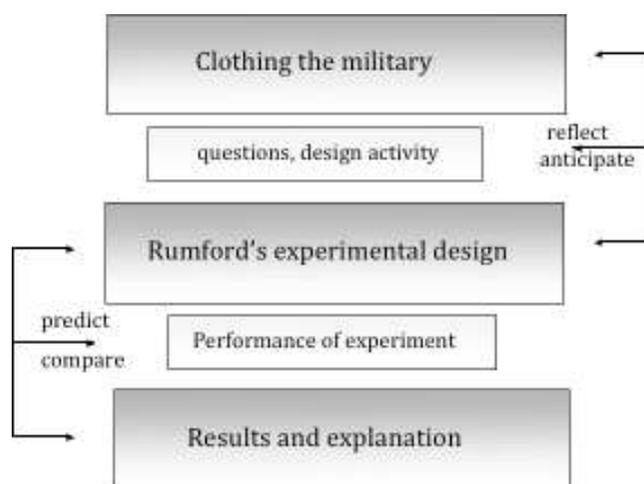


Fig. 2. Interrupted Story: Rumford.

The following case of an interrupted story contrasts the approach described above and the outline is shown in figures 1 and 2. Benjamin Thompson's - also known as Count Rumford - experiments on heat can easily be adapted to the classroom to examine various concepts of heat. The interrupted story is summarized in table 1. The first narrative is a brief biography of Rumford and establishes the context of the investigation. Rumford was an "Indiana Jones" kind of guy who led an intriguing life as a soldier, scientist, and spy. Students find the story quite entertaining and the narrative is intended to establish a narrative appetite while setting the scene for the practical exercise to follow by raising the problem Rumford faced to efficiently clothe his military in Bavaria. To make better uniforms, Rumford was interested in determining what materials afforded the best insulating protection. At this point, the story is interrupted and students are engaged in an activity to advance their own ideas, propose an experiment, draw the experimental apparatus and design their own procedure to complete the investigation.

Table 1. Rumford's Experiment's on Heat Summary.

Stages of the Historical Narrative	Historical Representation	Student Activity
Problem	<u>Narrative Part 1</u> Rumford's biography and the problem of clothing the military	Students devise their own experiment to compare the ability of various materials to keep an object warm. They describe and sketch their proposed apparatus in their notebook.
Complication	<u>Narrative Part 2</u> Read the first excerpt from Rumford's "An Enquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of its Communication" published in the <i>Royal Transactions</i> in 1804. Rumford's description of his experiment and apparatus. Performance of Rumford's experiment.	Using Rumford's notes, write out the experimental procedure for his investigation with the "naked" and "clothed" cans. Record your experimental predictions, expectations, and compare your procedure to Rumford's. Perform the experiment and compare your experimental results to Rumford's results.
Resolution	<u>Narrative Part 3</u> Analysis and interpretation of data Rumford's explanation of the insulating capabilities of air.	How does Rumford account for the discrepant results? Scientific Explanation

The second narrative is an excerpt from Rumford's report of his experiments in the *Philosophical Transactions of the Royal Society* read February 2, 1804. In this investigation on heat, Rumford built and described in detail a simple set of containers he used to measure the time it would take the container to cool ten degrees. He compared various materials, such as Irish linen and wool, to a standard uncovered container ("naked" in his terminology). Students read his account, then compare and contrast their design and drawings from the previous activity to Rumford's descriptions. Invariably many of the ideas proposed by the students are comparable to Rumford's and students write a procedure to complete the experiments as Rumford did in his lab. In the classroom representation of his experiment, we use two ordinary soup cans, one "naked" and the other covered in nylon cut from women's hosiery. Students are asked to predict how long it takes for each can, naked or covered, to cool ten degrees and to provide an explanation for their reasoning. Students' predictions are remarkably consistent as they expect the covered can to cool much slower than the naked can. Upon doing the experiment they are surprised that the can dressed in nylon cools faster. Ironically, at this point, students feel that they have failed in their procedure (as this has been their past experience when the data does not match the expected phenomena). Subsequently, the third narrative, which is a later excerpt from Rumford's report, is unveiled

and students are surprised to find that their results are identical to Rumford's data, the covered can does indeed cool faster than the "naked" can! Students re-examine their hypotheses and explanations and compare these ideas with Rumford's scientific explanation from his report. The teacher facilitates a final discussion and statement of the scientific principles and connects them in a meaningful way to students' prior understandings. In this case, how we dress for winter activities (in layers) is an excellent way to conclude the discussions (at least for those of us in northern climates!).

3. SOME CONCLUDING REMARKS

In contrast to typical instruction in science (and contrary to the textbook approach), the interrupted story provides a means for teachers to illustrate to their students how people thought about scientific ideas in the past, how science progresses, and how we can inspire interaction between observations and ideas during practical activities. Students continually generate their own ideas, design and write experimental procedure as they alternate between the narratives and their investigations. As they interact with the narrative throughout the investigation, students repeatedly address nature of science questions which arise naturally from the narrative. Students also find it remarkably rewarding that they have similar ideas, design, drawings, and conclusions of the original scientist.

In this way, we can engage students intellectually in what they are doing. Willms, Friesen & Milton (2009) remind us that that just remembering content is not satisfactory for deeper understanding. They argue that "Students need to be able to re-visit ideas and recast how ideas fit together in order to build an understanding of the fields of knowing within which content exists (p. 33). Further, they argue that all too often the tasks that we assign our students do not allow them to use their minds effectively or experience intellectually rigorous challenges. Using an interrupted story based in the history and philosophy of science should provide new avenues for students to be intellectually engaged in their work and learning science.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ABRAHAMSON, Ian. Practical work: It's better than writing but does it motivate? *Education in Science* **224**: 10-11, 2007.
- ABRAHAMSON, Ian; MILLAR, Robin. 'Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science'. *International Journal of Science Education* **30** (14): 1945-1969, 2008.
- American National Research Council. *Engaging schools: Fostering high school students' motivation to learn*. Washington: The National Academies Press, 2003. Available in: <http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10421>, accessed: March 10, 2010.
- BAL, Mieke. *Narratology: Introduction to the theory of narrative*. Toronto: University of Toronto Press, 1985.
- DRIVER, Rosalind. Constructivist approaches to science teaching. Pp. 385-400, in: STEFFE, L.P. & Gale, J. (eds.). *Constructivism in education*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1995.

- EGAN, Kieran. *Teaching as story telling: An alternative approach to teaching and curriculum in the elementary school*. London: Althouse Press, 1986.
- GUNSTONE, Richard; CHAMPAGNE, Audrey. Promoting conceptual change in the laboratory. Pp. 159-182, in: Hegarty-Hazel, E. (ed.). *The student laboratory and the science curriculum*. London: Routledge, 1990.
- HODSON, Derek. Practical work in science: Time for a reappraisal. *Studies in Science Education* **19**: 175-184, 1991.
- KLASSEN, Stephen. A Theoretical Framework for Contextual Science Teaching. *Interchange* **37** (1-2): 31-62, 2006.
- MATTHEWS, Michael. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.
- MATTHEWS, Michael. Opportunities Lost, The Pendulum in the USA National Science Education Standards. *Journal of Science Education and Technology* **7** (3): 203-214, 1998.
- METZ, Don; KLASSEN, Stephen; MACMILLAN, Barbara; CLOUGH, Michael; OLSON, Joanne. Building a Foundation for the Use Narratives. *Science & Education* **16**: 313-334, 2007.
- MEYLING, H. How to Change Students' Conceptions of the Epistemology of Science. *Science & Education* **6** (4): 397-416, 1997.
- MONK, Martin; OSBORNE, Jonathon. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education* **81** (4): 405-424, 1997.
- ROACH, Linda; WANDERSEE, James. Short Story Science. *Science Teacher* **60** (6): 18-21, 1993.
- ROACH, Linda; WANDERSEE, James. Putting People Back Into Science: Using Historical Vignettes. School Science And Mathematics Association, **95** (7): 365-370, 1995.
- STINNER, Arthur. Contextual Settings, Science Stories, and Large Context Problems: Toward a More Humanistic Science Education. *Science Education* **79** (5): 555-581, 1995.
- THOMPSON, Benjamin. An enquiry concerning the nature of heat and its mode of communication. *Philosophical Transactions of the Royal Society* **94**: 77-182, 1804.
- WANDERSEE, James. Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?. *Journal of Research in Science Teaching* **23** (7): 581-597, 1985.
- WANDERSEE, James. On the value and use of history of science in teaching today's science; Constructing historical vignettes. Pp. 277-283, in: HERGET (ed.). *More history and philosophy of science in science teaching*. Florida: Florida State University Press, 1990.
- WELLINGTON, Jerry. Practical work in science. Time for a reappraisal. Pp. 3-15, in: Wellington, Jerry (ed.). *Practical work in school science: Which way now?*. London: Routledge, 1998.
- WILLMS, J. D.; FRIESEN, S.; MILTON, P. *What did you do in school today? Transforming classrooms through social, academic, and intellectual engagement*. Toronto: Canadian Education Association, 2009.

SHADOWS OF LIGHT AND HISTORY IN EXPLORATIVE TEACHING AND LEARNING

Elizabeth Cavicchi *

Abstract: *Shadows are everyday phenomena that intrigued people in the past and remain accessible today. Shadows and history provided the context for lab activities among two teachers who participated with me as learners under the research pedagogy of critical exploration. Eleanor Duckworth developed critical exploration from the clinical interviewing of Jean Piaget and Bärbel Inhelder and classroom practices of the 1960s Elementary Science Study. During critical explorations, learners explore a subject matter without being told what to do or find; the teacher supports these investigations without imposing an expected path. During this study, two teachers explored while looking for each other in a mirror and observing shadows cast by the sun and candles. They responded to historical observations by Ibn al-Haytham, Leonardo da Vinci and Jean Piaget. Together the teachers extended their understandings of light, history and the gymnastic art of following another learner's outlook. In the process, these teachers deepened their capacities for supporting curiosity among the children and students whose learning comes under their care. This example of teaching and learning through critical exploration can empower other teachers to launch students on personal journeys of discovery.*

Key-words: Light and shadows; activity learning; historical reconstruction; exploration

1. INTRODUCTION

To me, teaching is a gymnastic art. A teacher does not simply orchestrate students' learning, but instead, looks for possibilities for students' development by observing how students think and how they could develop. This often requires a gymnastic somersault of the teacher's own preconceptions, which must be turned upside down in order to see the classroom – to the extent that is reasonable – through the students' eyes. By coming to where students are and trying out the mental motions and flexibilities that can be accessed from there, she builds an array of possible further moves and openings both for them and herself. These possibilities become a resource within the teacher's experience, for encouraging students in their own tentative making of leaps, bends and bounds, by which their new expertise and understanding develops.

I seek to develop my teaching in this gymnastic sense. Such teaching requires me to maintain flexibility of response, to notice potential in student work that I did not expect, to

* Edgerton Center, MIT, Cambridge ma 02139 USA. Email: ecavicch@mit.edu

adapt class activities in the moment, and give space for student expressions to emerge along multiple ways that may be new to me. By successively studying what goes on as I teach, I extend my range of flexibility and my trust in the diversity and fruitfulness that can come of students' curiosity. In support of my personal efforts to implement teaching as a gymnastic art, I participate in the research pedagogy of 'critical exploration' (Duckworth, 2001; 2006c; 2006d; 2005; 2006e; 2009; Cavicchi; Chiu & McDonnell, 2009) and contribute the reflective results of my teaching (Cavicchi, 1999; 2005; 2007; 2008a; 2008b; 2009a; 2009b; Cavicchi; Hughes-McDonnell & Lucht, 2001) toward its development.

Critical exploration, a pedagogy developed by Eleanor Duckworth, originates historically in the clinical interviewing of Jean Piaget (1951) and Bärbel Inhelder; Sinclair & Bovet, (1974) and the classroom activities of the 1960s Elementary Science Study (ESS, 1970). From Piaget and Inhelder, it derives the insight that learners construct knowledge through their directly active engagement with the world combined with their reflective consideration of multiple simultaneous possibilities ensuing from that engagement (Piaget, 1987). The clinical interviewing of Piaget and Inhelder facilitated children in undergoing both active and reflective experiences by participating in provocative activities and talking out their thinking under an open protocol. The ESS program exemplified these qualities in a nonjudgmental science classroom (ESS, 1973). Building on these examples of research and instruction, critical exploration provides explicit classroom opportunities for active and reflective practices on the part of students and teacher, via an open exchange of perspectives.

In opening a critical exploration, a teacher poses a complex problem or material to students, provides them with direct access to it, and encourages them to explore it through a variety of modalities such as observing, manipulating, changing, or inventing. The teacher might ask questions like: what do you notice, or, what might you try next? To whatever students notice, do or describe, the teacher responds with further activities, queries or materials in an effort to sustain their involvement and expand their awareness of possible ways for exploring. It is crucial that the problem or materials be complex enough to afford students multiple entries. For example, in biology the material might be a sprouting seed (Hughes-McDonnell, 2009), a tree (Julyan, 1988) or live chicken (Rauchwerk, 2005); in literature, a poem (Schneier, 2001); in history, a nineteenth century butter mould (McKinney, 2004); in math, a game involving mathematical operations (Duckworth, 1987). Learners explore this material without being told what to do or find; the teacher supports their investigations without imposing an expected path. Instead of being consumers of facts, learners become observers of the world, initiating personal experiences and ideas that challenge their underlying expectations.

In an undergraduate lab seminar¹ that I teach through critical exploration, students explore materials ranging from everyday items like mirrors (Cavicchi, 2009a), to lab apparatus like a Bunsen burner flame (Cavicchi, 2008a), to historical artifacts like an early telephone (Cavicchi, 2008b). A context of history introduced through readings, artifacts and questions, informs and extends students' curiosity. Students come to personal realizations about historical work and its relation to theirs. They develop into explorers of the natural world and creators of understandings that are open to critical re-evaluation (Cavicchi 2007, 2009a, 2009b). These observations of history in science learning corroborate other studies (Stinner, 1989; Klassen, 2009a; 2009b; Heering, 2000).

Many exercises in critical exploration start with phenomena as seemingly straightforward as light and shadow. Light and shadow are science phenomena that are accessible wherever we are and require no special apparatus: outdoors in the sun; indoors under lights; and at night within what is – in essence – earth’s great shadow.² Human involvement with light and shadow has a long history where science and art comingle in works of craft, such as sundials, as well as in works of observation, such as drawings with shading. All these features were woven into the experiences of learning that arose during a semester of weekly two-hour sessions involving two participants with myself as their teacher.

Participants Marco and Emanuela, a couple from Milan, Italy, were in the United States for a year of study. Marco, a computer science professor, was doing a postdoctoral research project; Emanuela, a software engineer, was learning English, handicraft arts and other activities. Both had studied college physics in formal settings where opportunities for student investigation were few. During their stay, they became acquainted with such alternative educational practices as the work of Maria Montessori (1964), Reggio Emilia (Cadwell, 1997; Project Zero, 2001), and the MIT Museum’s Cambridge Science Festival (2010).

These examples of education through personal experience inspired Marco and Emanuela to ask me to accompany them in their “journey” for realizing that dream for themselves and other learners. Marco wanted to “teach with passion”, keeping in mind how new everything is for his university students; Emanuela sought to uncover “the potentialities within the child”.³ This dream of Marco and Emanuela infused our sessions with the work, aspirations, and desire of teacher education. For us, teacher education meant deepening our explorative relation with the world, and opening it for the learners we will come to teach.

2. OBSERVING WITH LIGHT, SHADOW, AND THE EXPLORATIONS OF ANOTHER

A core principle of the teacher education that I hoped to facilitate for Marco and Emanuela was the gymnastic art of observing another’s thinking and tracing its motions. This activity requires one to develop an eye for predicting where students’ thinking might go, and empowering students to go there. Our first activity opened this prospect by putting Marco and Emanuela into roles of observing each other literally in a mirror. I asked them to predict where to place a mirror on a wall that they both faced, so that one could see the other in it. This is a classical exercise in critical exploration that Duckworth (1990) developed in her teaching, which I often introduce to students through contexts with history (Cavicchi 2007; 2009a; 2009b).



Fig. 1. Left: Marco predicts that if Emanuela is in front of the mirror, he will see her while standing to the side. Right: Emanuela looks at the mirror without seeing him.

What surprised Marco most was the failing of his own initial prediction (Figure 1, left). He supposed that with the mirror placed right in front of Emanuela, he would see her in it, while standing off to the side (Figure 1, right). When this was not the case, he moved toward her. Eventually sighting each other in the mirror, “I can see you!”, the two contrived to move apart while continuing to hold the other in view by the mirror. Construing how her positions related to Marco and the mirror, Emanuela perceived symmetry in outlook (Figure 2, left). She proposed “you see me when we keep the same angle with respect to the mirror” (Figure 2, middle). They tested this new prediction by moving to many places in the room (Figure 2, right).



Fig. 2. Left: Emanuela places the mirror on the blackboard where she drew a symmetry between viewer and object. Middle: She proposes that she and Marco “keep the same angle with respect to the mirror”. Right: From far back in the room, they see each other in the mirror.

A key role for me in this journey was to keep their thinking evolving and not dwell on errors. In a successful critical explorations session, errors are enablers of learning, rather than personal failures. Students are encouraged to correct mistakes by direct observation, and to challenge their theories that prove to be observably false.

The mirror activity had Marco and Emanuela acting on the thoughts of each other by putting their whole bodies and the mirror into predicted relations and then extending those through new arrangements. Weeks later at the semester’s end, they looked upon this first activity with the mirror as profound. By not behaving as Marco predicted it would work, the mirror revealed how much of the everyday world lay unexamined. For Marco, this revelation deeply unsettled what he thought he knew; he said “I realize that OK, I was not understanding things. I was just seeing things. It was really hard!” For Emanuela, there was the thrill of a world to explore; she reflected: “The mirror is really like putting one foot into a really big land.”

Emanuela stepped with both feet into that big land and found herself of accord with others who preceded her. Next time, Marco was away. We discussed our reading of Jean Piaget’s (1951) early interviews with children to draw out their ideas about night. The child’s view delighted Emanuela by exposing the significance of seemingly “trivial” things. She grasped the integrity underlying a child’s reasoning. Restating one child’s argument as “night is there because we have to sleep and we sleep well if it is dark”, she performed a gymnastic feat of seeing it through an alternative lens, saying “It really makes sense for them, but it is so so funny!” Another child’s attribution of life to clouds entranced Emanuela with the child’s rationale: “If clouds move, of course they are alive! ... movement is attributed to life! I like it!”

Emanuela came to a yet fuller apprehension of the child’s view as it welled within her

response to a candle she lit. Its flame swayed; Emanuela exclaimed “light that is alive!” Looking at her own reaction with the regard she had earlier applied to child, Emanuela rejoiced “it is so funny! I was like the child! It moves, so it is alive!!”

Playing in shadows, she found much going on. She raised and lowered a pencil; its shadow on the table changed (Figure 3, left). Laying the pencil on white paper, she marked the shadow beneath it (Figure 3, left middle). Raising the pencil toward the flame, she noticed its shadow lengthen and blur (Figure 3, right middle). The shadow’s change from sharp to fuzzy intrigued her. I encouraged her to investigate it, saying “there seem to be a lot of things going on.” Now she considered other options such as: “move the source of light.” Keeping the pencil fixed, she moved the candle toward it and away. As with the mirror, she perceived a relation: among light, object, paper. She reported “I get similar results [sharp shadow] with relative movement: pencil close to paper, or light far from paper.”



Fig. 3. Left: Moving a pencil near a candle while observing its shadow. Left middle: marking the shadow beneath a pencil. Right middle: The pencil’s shadow lengthens as it is raised. Right: a pencil casts no shadow inside a flashlight’s beam.

Exchanging a flashlight for the candle, she exclaimed: “O!!! O MY!!” A pencil cast no shadow when it blocked the beam (Figure 3, right). Asking “why is this source of light” so different?, she came back to the mirror she perceived “behind” the flashlight’s bulb. I did not point out what is different about the flashlight, but instead looked for how she might observe that difference for herself. A teacher must be patient and let the student’s thinking and exploration take their own path.

Discovery is much more exciting when the student is allowed to take personal ownership of it, rather than being “guided” to an answer. Through being an explorer herself, Emanuela recognized explorative inclinations in others. She told how her young niece collected only the few white shells from a walkway paved in white stones and shells. In the finding of a white shell among many stones -- like with a sharp shadow seen among vague ones – we develop as observers of relation and order in nature.

3. OBSERVING LIGHT AND SHADOW FROM HISTORICAL EXPLORATIONS

Like the child whose curiosity endears us into such leaps of thought as Emanuela experienced in taking on a child’s view of night, flame or shells, a historical account can exercise our minds into possibilities that we otherwise may not perform. I encouraged Emanuela and Marco to read investigations of light and shadow by Ibn al-Haytham (1989) and

Leonardo da Vinci (1923, 1970, 1977). They gained an appreciative and critical regard of these past works.

Meeting again while Marco was away, Emanuela responded to excerpts from Ibn al-Haytham, an eleventh century mathematician in the Arabic Islamic tradition who innovated an optics based on the eye as a receptor of straight-line light rays reflected from the object, in contrast to the classical explanation of the time, that the eye emits “visual rays”. To establish such a profound inversion of the widely accepted “visual rays” involved mental gymnastics. Ibn al-Haytham described his practice as questioning authority and self-critique (Sabra, 2003). His appeal to critique one’s own understanding struck Emanuela as a huge challenge:

The concept [of Ibn al-Haytham] is not to accept passively what we read, but to always question; submit to argument and demonstration. This is really, really tough to apply on yourself! ... Don’t stop at the first conclusion [that you make.]

Emanuela applied self-questioning when she attempted to redo Ibn al-Haytham’s demonstration that light travels in straight lines. He put an empty tube on a straight ruler and sighted an object that laid ahead (Figure 4, left). On covering part of the tube’s opening, he did not see part of the object. Emanuela looked through a shiny pipe she taped to a ruler, but on partly blocking the pipe, she still saw the object (Figure 4, middle). Saying “I am not able to reproduce it”, she reread his text carefully, inferred a discrepancy in the smaller diameter of our pipe. Again, as a teacher I looked for opportunities to encourage her. Sometimes, a critical explorations teacher may need to wait weeks for an opportunity.



Fig. 4. Left: A tube on a ruler between the eye and object; drawing by Cecily Lopes. Middle: Emanuela views the clock through a tube, using a cardboard to partly block it. Right: My sketch of Leonardo’s circle where Day [Giorna] is written across its top and Night [Notte] below. The sun is indicated by circles on either side of the diameter.

Weeks later, at Harvard’s Houghton rare book library, Marco and Emanuela were awed to turn pages of manuscripts of Islamic science (Vefa undated), the first printing of Ibn al-Haytham’s *Optics* (Alhazen, 1572) and a facsimile of Leonardo’s *Codice Atlantico* (1973-1975).⁴ The mammoth volumes of Leonardo’s drawings brought Marco and Emanuela into intimate relation with their extraordinary Italian predecessor. They studied his handwriting intently, silently puzzled. Emanuela walked around the great book, to view it upside-down. Returning to the upright sense, she mused “it is almost like looking in a mirror”. Picking up a small mirror – that I provided with this use in mind (but without suggesting that!) – she lay it beside the text. Gradually the inscrutable lettering took on meaning; she exclaimed: “Guarda. Now it makes sense! ...We couldn’t figure it out. We know Italian. I tried to read it upside down. Our

discovery!” That they “took ownership” of discovering the mirror sense of Leonardo’s handwriting made it more compelling, than if they were told.

Again the mirror opened a new world for Marco and Emanuela. Leonardo’s historical Italian and handwriting proved daunting to interpret. Observing that “even with the mirror it is super-difficult to read”, she translated two words in a diagram (Leonardo, 1973-5, vol. VIII, plate 677 back) as *Day* (Giorna) and *Night* (Notte). This diagram depicts a large circle with a horizontal line through it and a small circle at its center (Figure 4, right). *Day* appears above that line, *Night* below. Emanuela executed the gymnastic feat of putting her mind into a pre-Copernican head. Identifying the central circle as Earth, the outer one as the Sun’s path, brought her to realize that Leonardo portrayed the sun as going *around* the earth – unlike Galileo!

Historical science widened the community where Marco and Emanuela were exploring. They joined Ibn al Haytham and Leonardo as fellow-collaborators whose studies could be just as puzzling as their own. To actually gain understanding for themselves from these past works involved: looking down real tubes; questioning what was seen; redrawing the sketches of a sublime artist; and restating seemingly archaic words into living languages.

4. OBSERVING OUTDOOR SHADOWS OF PEOPLE, POLES AND POSTS

Outdoors, light and shadow are in a continual relationship whose changing across a day or a season locally projects motions of the heavenly bodies. Early in our meetings, I asked Marco and Emanuela to notice what they could about sun, sky and moon, and consider what observations they might make that could show something about these motions relative to Earth. These questions lay in the background until we met on the lawn.

Outdoors, Marco had the idea to observe the shadow of his wife. Into her shadow, Marco put a white board, upright. When placed toward or away from her, it showed different parts of her shadow: head, torso, legs (Figure 5, left, left middle). Marco noticed that the length of a body part in her *shadow* varied in relation to her actual body, depending on where it was! He checked this idea by measuring these lengths on her body, and on their shadows (Figure 5, right middle). Her shadow legs were longer than her shadow head. The shadow on the upright board is shorter than same shadow as it falls on ground.

Marco was intrigued. He conceived of measuring that shortened shadow to estimate a building’s height: “What about a skyscraper? I am wondering if I can understand the length [of a building] without measuring the entire shadow.” As a teacher, I hoped to enable Marco to develop his ideas of proportionality. Marco is highly educated, but that education did not prepare him for this particular kind of independence. Facts were not enough. In critical explorations, students develop skills for approaching the creation of knowledge rather than accept facts.



Fig. 5. Marco measures the height of the shadow of Emanuela's head [left] and hips [left middle] on a white board before measuring her head's height [right middle]. Right: The flagpole's shadow falls on upright trees.

To encourage their engagement with the flux of our surroundings, I asked “do you have an idea of how the shadow is changing?” Emanuela observed “it is getting longer”; Marco added “and going to the right.” I drew their attention to two flagpoles. One flagpole's shadow fell on a tree; Marco regarded that tree's upright reception of the flagpole's shadow (Figure 5, right) as analogous to the white board he held up in Emanuela's shadow! Both flagpoles' shadows were changing too, as Emanuela realized, saying: “Look at the flagpole's shadow! It's longer and longer!”

Pointing out areas on the lawn where the shadow fell and moving his hand to represent the sun, Marco added “the shadow was there (Figure 6, left), now it is there (Figure 6, left middle). The sun is moving in this direction.” Emanuela dissented: “the sun is fixed.” Now Marco synthesized the shadow's lengthening, noticed by Emanuela, together with its rightward shifting that he identified, into the context of our background question about motions involving sun and earth. Marco said: “the earth is moving [in two senses at once]. Otherwise you are not going to observe only the shadow getting larger but also we will not see the shadow moving from left to right.”

We went indoors in a dark lab. Marco proposed using a candle to model the sun with a soda straw as the flagpole (Figure 6, right middle): “This is the same phenomena we were experiencing with the flag outside. The pole shadow is smaller, at base, wider at top; darker inside the shadow, lighter outside.” Being struck that so much goes on with shadows, Marco said: “not only the distance, but also the dimension between the source of light and the object, and the distance between the light and the object.” Emanuela concurred, “so many variables!!”



Fig. 6. The flagpole's shadow (white arrows point to it) moves from the left [Left] rightward [Left middle]. Right middle: An upright straw casts a shadow like the flagpole's. Right: Added arrows point to marks on the sidewalk at the end of the lamp pole's shadow; it slows slightly in moving rightward; photo by Marco Santambrogio.

In the unreserved questioning that they experienced together, Marco connected to “the unique part of being a child” and voiced the core realization of our shadow explorations:

[As a child] You are not able to understand; you ask questions because you want to understand. .. adults think they understand, and ... are not asking questions. ... The important thing is that we are developing our own ideas and that we are intrigued by these ideas and we are trying to explore more. We are pushed to understand the phenomena more because of these ideas. It is not the answer that is the real point; it is the question: are we able to pose questions and investigate or not?

Referring to our background question, Marco reflected on presuming “we know earth moves around sun. This is the right answer.” It demanded a gymnastic act of mind to observe without letting that right answer dominate, without letting it shut out new questions.

One morning, Marco and Emanuela mapped the path of shadows cast by the sun. Previously, he observed that when sun shines on a tall pole, its shadow changes more than that of a short one. Acting on that result, Marco compared the shadows of a lamp pole with those of a short tube. Every five minutes, they marked the shadows of pole and tube with sidewalk chalk. Near noon, Marco noticed that successive marks were closer: “it is beginning to get slower” (Figure 6, right). I asked Emanuela what the sun was doing while the shadowed moved as she marked it. She envisioned an inverse relation: “if the shadow is moving this direction, the sun is going in the opposite direction.”

The top of the lamp pole’s shadow moved more than the tube’s. This discrepancy no longer troubled Marco as it had in an earlier session. He related that difference in rate to the mirror activity “Both the [pole and tube] shadow ends are moving ... with different speeds. The only difference is the length of the shadow. ... The angle is the same ... like with the mirror.”

The outdoor shadow of a pole is in continual motion, transforming in size and orientation – yet it typically passes unseen. By watching, marking and measuring those shadows, Marco and Emanuela traced out a story of bodies far beyond than themselves, whose relative motions play out during any clear day onto the local surfaces beneath our feet. Seeing those projections for what they tell, puts us into creative activity that respects evidence and infers underlying pattern: following a shadow, coordinating space and time to record its change, inverting the sense of its change to guess the source’s path. As Marco realized, all this goes on within an evolving exploratory process that keeps to no script, or sequence of correct steps, or final answer.

5. EDUCATIONAL VISION AND EXPLORATIVE PRACTICE

Marco and Emanuela came to me with their shared vision of science education emerging through students’ curiosity and personal experience. We sought to bring that vision into our own lived experience with our sessions with light and shadows; indoors and out; with historical readings and drawings. Marco and Emanuela exercised their minds flexibly through engaging with the uncertainties of investigating light reflecting off a mirror, deciphering Leonardo’s mirror-handwriting and following the sun-cast shadows of poles. The work of that flexibility is evident in the science experimenting generated from their own observations of

everyday phenomena and their sensitivity to diverse human responses to science. Having put their vision to work across lab and reflective experiences, the couple contemplated developing it into their future teaching.

An immediate teaching opportunity arose for them with a visit from their school-aged niece. Reflecting on how we had started with a question about earth and sun motion, Marco proposed asking the child what she might do to understand how earth and sun move. When Emanuela feared this opening could be “too challenging”, Marco dissented:

You cannot know if it is not challenging or not. You have to try to put them in that situation. Otherwise they are going to have 33 years [i.e. his age] and someone is going to tell them: “Look at the sky.”

Keenly aware of the adult tendency to short-circuit children’s explorations by providing ‘answers’, Emanuela admired Piaget’s manner of engaging children through their explorative involvement, such as in recognizing contradictions within their own thinking:

He [got] them to the point in which they figure out something was wrong in what they were thinking.... the kid would just say I don’t know. And he didn’t say what it was.

During the visit, Emanuela observed herself holding back her adult inclination in order to support her niece’s discovery. Later she described a moment where she adopted Piaget’s practice:

[My niece] was walking in the snow. I started to say: “Don’t walk in the snow. You will get cold. You will get wet. You will not like it.” Then I shut myself up. I said to myself: “Let her experiment. She wanted the snow. Let her find out!!”

On resuming university teaching, Marco seeks to probe and challenge students’ understanding. For example, in his classroom of two hundred engineering undergraduates, he posed a competition: to report to him by email any ‘errors’ they detect in his lectures. By reading and responding to each email individually, he gains insight into students’ confusions and understandings. He integrates these insights into future lessons and activities such as viewing science fiction films together. His university teaching thrives on sharing with students the adventure of going into some new area: “What I love is to try new things with the students.” Marco shares what powers his vision:

Engineering students can change the world. Through seeing what can be [as in movies], students can be curious and put their ideas and innovations into action.

This intersecting story of Marco and Emanuela, their niece, his university students, Leonardo, and myself expresses the practice and thinking of putting an educational vision into action. With it, we encourage other teachers, teacher educators, and students that they too can act on personal educational vision, having as resources their own wonder and curiosity for such everyday phenomena as light and shadows. In responding to the unexpected natural effects and seeking to understand the thinking of another – or their own self-critically— they stand to uncover myriad possibilities for exploring and to develop the gymnastic adeptness of mind by which an educational vision becomes a sustaining explorative practice.

In this exercise, two highly educated people put aside the assumptions of their traditional education and became more than consumers of knowledge. They learned to produce facts by observing, hypothesizing, and constructing personalized experiments with sharable outcomes. They also learned how to encourage this kind of development in others. At a time when the world needs true innovators, critical explorations provide a way to incite people to see, create, and evaluate in new and unexpected ways. This is a true benefit of the process of critical exploration.

ACKNOWLEDGMENTS

I am delighted to thank Marco Santambrogio and Emanuela Fabbri for their vision and exploratory teaching and learning. Putting their traditional education aside, and allowing themselves to develop in new ways, was an inspirational act of courage. For the opportunity to develop experimental courses, I am grateful to James Bales and the MIT Edgerton Center. James Capobianco, Deborah Douglas, Jeremiah Graves and the MIT Libraries assisted with class sessions. I acknowledge encouragement from: Peter Heering, Elaheh Kheirandish, Ben Marsden, Alythea McKinney, David Pantalony and Ryan Tweney. I discussed teaching with James Bales, Fiona McDonnell, Lisa Schneier, and Bonnie Tai. Alva Couch sustains my spirits. Eleanor Duckworth inspires my explorative teaching. This work honors the memory of Philip Morrison and Alanna Connors.

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- ALHAZEN. *Opticæ thesavrvs. Alhazeni Arabis libri septem, De crepvsclis; WITELLO Thvringopoloni libri x.* Ed. By Frederico Risner. Basil, 1572.
- CADWELL, Louise. *Bringing Reggio Emilia Home: An Innovative Approach to Early Childhood Education.* New York: Teachers College Press, 1997.
- CAVICCHI, Elizabeth. *Experimenting with Wires, Batteries, Bulbs and the Induction Coil: Narratives of Teaching and Learning Physics in the Electrical Investigations of Laura, David, Jamie, Myself and the Nineteenth Century Experimenters - Our Developments and Instruments.* Cambridge, 1999. Dissertation (Ed.D.) - Harvard University.
- . Exploring Water: Art and Physics in Teaching and Learning with Water. Pp. 173-194, in: FRANCE, Robert (ed.). *Facilitating Watershed Management: Fostering Awareness and Stewardship.* Lanham: Rowman & Littlefield Pub., 2005.
- . Mirrors, swinging weights, lightbulbs...: Simple experiments and history help a class become a community. Pp. 47-63, in: HEERING, Peter & OSEWOLD, Daniel (eds.). *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching.* Berlin: Frank & Timme, 2007.
- . Opening Possibilities in Experimental Science and its History: Critical Explorations with Pendulums and Singing Tubes. *Interchange* **39**: 415-442, 2008 (a).
- . Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. *Science and Education* **17** (7): 717-749, 2008 (b).
- . Exploring Mirrors, Recreating Science and History, Becoming a Class Community. *New Educator* **5** (3): 249-273, 2009 (a). Available in: <<http://www1.ccnycunyu.edu/>

- prospective/education/theneweducator/volume5_3.cfm>. Access: September 25, 2013
- . Unsettling brings about development in the classroom: Critical explorations with historical observations of light. In: INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND SCIENCE TEACHING CONFERENCE, 6, 2009 (b), Indiana. *Proceedings...* Indiana: Notre Dame University, 2009 (b). Available in: <<http://www.nd.edu/~ihpst09/papers-2.html>>. Access: September 25, 2013.
- . *Notes, transcripts and records from SP726*. Cambridge: MIT, 2009 (c).
- CAVICCHI, Elizabeth; HUGHES-MCDONNELL, Fiona; LUCHT, Petra. Playing with Light. *Educational Action Research* 9: 25-49, 2001.
- CAVICCHI, Elizabeth; CHIU, Son-Mey; MCDONNELL, Fiona. Introductory Paper on Critical Explorations in Teaching Art, Science and Teacher Education. *New Educator* 5 (3): 189-204, 2009. Available in: <http://www1.cuny.cuny.edu/prospective/education/theneweducator/volume5_3.cfm>. Access: September 25, 2013.
- DUCKWORTH, Eleanor. Some Depths and Perplexities of Elementary Arithmetic. *Journal of Mathematical Behavior* 6: 43-94, 1987.
- . Teaching/learning research. Pp. 181-187, in: DUCKWORTH, Eleanor (ed.). *"Tell me more": Listening to learners explain*. New York: Teacher's College Press, 2001.
- . Teaching as research [1987]. Pp. 173-192, in: DUCKWORTH, Eleanor (3rd ed.). *"The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning*. New York: Teacher's College Press, 2006 (c).
- . Opening the world. Pp. 21-59 in: DUCKWORTH, Eleanor; EASLEY, Jack; HAWKINS, David & HENTRIQUES, A. (eds.). *Science education: A minds-on approach for the elementary years*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1990.
- . Twenty-four, forty-two and I love you: Keeping it complex [1991]. Pp. 125-155, in: DUCKWORTH, Eleanor (3rd ed.). *"The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning*. New York: Teacher's College Press, 2006 (d).
- . Critical exploration in the classroom. Pp. 157-172, in: DUCKWORTH, Eleanor (3rd ed.). *"The having of wonderful ideas" and other essays on teaching and learning*. New York: Teacher's College Press, 2006 (e). (Original essay published in *New Educator* 1 (4): 257-272, 2005).
- . Helping Students Get to Where Ideas Can Find Them. *New Educator* 5(3), 185-188, 2009. www1.cuny.cuny.edu/prospective/education/theneweducator/volume5_3.cfm Access: September 25, 2013
- ESS (Elementary Science Study). *Light and Shadows*. Watertown: Educational Services Inc., 1965.
- . *The ESS Reader*. Newton: Educational Development Center, 1970.
- . *The Elementary Science Study: A History*. Newton: Educational Development Center, 1973.
- HEERING, Peter. Getting Shocks: Teaching Secondary School Physics Through History. *Science and Education* 9 (4): 363-373, 2000.
- HUGHES-MCDONNELL, Fiona. "I wonder how this little seed can have so much potential": Critical exploration supports pre-service teachers' development as science researchers and

- teachers. *New Educator* **5** (3): 205-228, 2009. Available in: <http://www1.cuny.cuny.edu/prospective/education/theneweducator/volume5_3.cfm>. Access: September 25, 2013.
- IBN AL-HAYTHAM. *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I-III, On direct vision. Trans. Abdelhamid Ibrahim SABRA*. London: Warburg Institute, University of London, 1989.
- INHELDER, Bärbel; SINCLAIR, Hermine; BOVET, Magali. *Learning and the development of cognition. Trans. Susan Wedgwood*. Cambridge: Harvard University Press, 1974.
- JULYAN, Candace. *Understanding trees: Five case studies*. Dissertation (Ed.D). Cambridge: Harvard University, 1988.
- KLASSEN, Stephen. The Construction and Analysis of a Science Story: A Proposed Methodology. *Science and Education* **18** (3-4): 401-423, 2009 (a).
- . Identifying and Addressing Student Difficulties with the Millikan Oil Drop Experiment. *Science and Education* **18** (5): 593-607, 2009 (b).
- LAPEF (Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física). Atividade sombras iguais: arte e física, sombras.wmv Available in: <http://paje.fe.usp.br/estrutura/index_lapef.htm>. Access September 25, 2013.
- LEONARDO DA VINCI. *Leonardo da Vinci's note-books; arranged and rendered into English*. MCCURDY, Edward (ed.). New York: Empire State Book Company, 1923.
- . *Leonardo da Vinci's note-books*. RICHTER, Jean Paul (ed.). New York: Dover Pub., 1970.
- . *Il codice atlantico. Edizione in facsimile dopo il restauro dell'originale conservato nella Biblioteca ambrosiana di Milano*. Transcr. Augusto Marioni. Florence, Italy: Giunti-Barbèra, 12 v. facsim. 1973-1975.
- . *The literary works of Leonardo da Vinci*. Ed. by Jean Paul Richter. Berkeley, CA: University of California Press, 1977.
- . *Il Codice Atlantico della Biblioteca Ambrosiana di Milano*. Transcr. Augusto Marinoni. Florence, Italy: Giunti, 2000.
- MCKINNEY, Alythea. *Shaping history: Five students, three artifacts, and the material, social and economic lives of late nineteenth-century butter-makers*. Dissertation (Ed.D.). Cambridge: Harvard University, 2004.
- MIT MUSEUM. The Cambridge Science Festival, 2010. Available in: <<http://cambridgesciencefestival.org/Home.aspx>>. Access September 26, 2013.
- MITOpenCourseWare (2002-2010). Available in: <<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/web/home/home/index.htm>>. Access September 25, 2013.
- MONTESSORI, Maria. *The Montessori method* [1909]. Trans. A. E. George. New York: Schocken Books, 1964.
- PEDRETTI, Carlo. *The Codex Atlanticus of Leonardo da Vinci: a catalogue of its newly restored sheets*. New York: Johnson Reprint Corp, 1978.
- PIAGET, Jean. *The child's conception of the world* [1926]. Trans. J. & A. Tomlinson. Savage: Littlefield, Adams, 1951.
- . *Possibility and necessity: Volume 1; The role of possibility in cognitive development* [1981]. Trans. H. Feider. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1987.
- PROJECT ZERO REGGIO CHILDREN. *Making learning visible: Children as individual and group learners*. Cambridge: Harvard Graduate School of Education/ Reggio Emilia, 2001.

- RAUCHWERK, Susan. *Incubating knowledge: a critical exploration with teachers studying live chickens*. Dissertation (Ed.D). Cambridge: Harvard University, 2005.
- SABRA, Abdelhamid Ibrahim; Ibn al-Haytham. Brief life of an Arab mathematician: died circa 1040. *Harvard Magazine* **106** (9): 54-55, 2003. Available in: <<http://harvardmagazine.com/2003/09/ibn-al-haytham-html>>. Access: September 25, 2013.
- SCHNEIER, Lisa. Apprehending poetry. Pp. 42-78 in: DUCKWORTH, Eleanor (ed.). *"Tell me more": Listening to learners explain*. New York: Teacher's College Press, 2001.
- STINNER, Arthur. The Teaching of physics and the contexts of inquiry: From Aristotle to Einstein. *Science Education* **73** (5): 591-605, 1989.
- VEFA, Ş. *Hādhā Rūznāmah-ī ma'ahu mīqāt layl wa-nahār wa-sā'ir al-awqāt al-ma'lūmah*. Houghton Library, Cambridge MA, MS Arab 397, undated; after d. 1490. Available in: <<http://pds.lib.harvard.edu/pds/view/5904464?n=1&imagesize=1200&jp2Res=.125>>. Access September 26, 2013.
- VELTMAN, Kim. *Seven Books on Light and Shadow*, 1999. Available in: <<http://www.mmi.unimaas.nl/people/Veltman/books/contin/p2c2.htm>>. Access September 25, 2013.

¹The seminar, "Recreate Historical Experiments: Inform the Future from the Past", is an undergraduate elective. Course materials from subsequent semesters are posted on MITOpenCourseWare (2002-2010); under the above title and course numbers SP726 and SP713.

²For examples of elementary school curriculum where children explore with outdoor shadows, see (ESS 1965) and (LAPEF n.d.).

³All dialogue quotes are from my notes (Cavicchi, 2009c), unless otherwise indicated.

⁴In identifying passages in Leonardo's *Codice Atlantico* (1973-1975), we were assisted by Veltman (1999). See (Leonardo, 2000) for a three-volume edition of *Codice Atlantico*, with Italian transcriptions. Consult (Pedretti, 1978) for cross-referencing between new and old numbering systems.

ESTUDO DE COSMOLOGIA MODERNA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DA HISTÓRIA DA FÍSICA: DIÁLOGOS INTERDISCIPLINARES

José Claudio Reis*
Andreia Guerra**
Marco Braga***

***Resumo:** Esse artigo apresenta uma proposta pedagógica para trabalhar Cosmologia com alunos do Ensino Médio a partir de uma concepção histórico-filosófica da Física. A proposta foi estruturada para desenvolver com esses alunos estudos dos modelos cosmológicos, da Antiga Grécia ao Big Bang. O desenvolvimento histórico-filosófico da Cosmologia mostra que os personagens envolvidos construíram seus trabalhos imersos num ambiente cultural e que o mesmo se reflete em seus trabalhos. Essas considerações guiaram a construção da proposta pedagógica. Assim optou-se por uma abordagem contextual da História e Filosofia da Ciência. Nessa abordagem, o professor construiu atividades que ressaltaram que a ciência, as artes e as outras áreas do conhecimento humano se desenvolvem num diálogo dialético.*

***Palavras-chave:** Ensino de Física, História e Filosofia da Ciência, Física e Arte.*

STUDY OF MODERN COSMOLOGY IN HIGH SCHOOL THROUGH THE HISTORY OF PHYSICS: INTERDISCIPLINARY DIALOGUES

Abstract: This paper presents a study carried out during physics lessons in a high school in Brazil. The aim of the lessons was to teach Cosmology in a historical-philosophical approach. The teacher during the lessons discussed with students the different cosmological models constructed along the history. The historical development of Cosmology shows that the scientists who studied this subject did not deal with pure questions in a vacuum. Indeed they were immersed in a scientific and cultural context. These considerations guided the pedagogical intervention. So to construct this intervention, the historical and philosophical discussions were developed in a contextual approach. In this approach, the teacher constructed activities which pointed out that the arts, humanities and science developed over time in a dialectic dialogue.

Key-words: Physics Education, History and Philosophy of Science, Physics and Art.

* José Claudio Reis - guerrareis@tekne.pro.br - UERJ - Escola Parque – Grupo Teknê;

** Andreia Guerra - aguerra@tekne.pro.br - CEFET-RJ – Grupo Teknê

*** Marco Braga - braga@tekne.pro.br - CEFET-RJ – Grupo Teknê

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas da introdução de uma concepção histórico-filosófica na educação científica é o da construção de experiências concretas que permitam a discussão sobre sua viabilidade no dia a dia do ensino.

As possibilidades são muitas, desde o simples enxerto de questões específicas de História e Filosofia da Ciência no currículo tradicional (Braga; Guerra & Reis, 2010) até a completa reestruturação de todo esse currículo. As dinâmicas de trabalho também podem ser variadas, como a utilização de encenações teatrais (Medina & Braga, 2010), implementação de controvérsias históricas entre os estudantes na forma de um julgamento (Guerra; Reis & Braga, 2002), realização de experimentos históricos (Hottecke, 2000) ou o desenvolvimento de narrativas históricas (Klassen, 2007).

Apesar das diferentes possibilidades teórico-metodológica indicadas pela pesquisa em ensino de ciências, muitos são os obstáculos para a inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino (Martins, 2007; Hottecke & Silva, 2010). Diversos elementos que compõem aquilo que poderíamos chamar de cultura escolar dificultam essa introdução, desde a formação dos professores, que não privilegia uma abordagem histórico-filosófica dos conteúdos, até o sistema de avaliação, que com seus exames no final da Educação Básica visando o ingresso na universidade contaminam todo o Ensino Médio, padronizando a avaliação e impedindo qualquer trabalho que esteja fora desse esquema.

O rompimento com toda essa cultura não é tarefa fácil. Normalmente, os professores ensinam da mesma forma como aprenderam, e não como os ensinaram a ensinar. Logo, tendem a reproduzir as formas que já conhecem.

Nesse contexto, o desenvolvimento de experiências concretas assume um papel fundamental, pois tem a capacidade de demonstrar as vantagens e desvantagens das opções realizadas em função da realidade educacional na qual a experiência foi desenvolvida. O acúmulo e a divulgação de experiências nesse campo têm um caráter didático para os professores, pois acabam comprovando que brechas podem ser abertas na cultura escolar. Ao se defrontarem com experiências alternativas de sucesso nas mais diversas realidades educacionais, os professores poderiam perceber que existem outras possibilidades de ensino, começando também eles a experimentar. Dessa forma, esse deveria ser um primeiro caminho a ser trilhado por aqueles que desejam transformar o ensino de ciências e que acreditam que uma abordagem HFC possa ser um caminho interessante para isso.

2. O PAPEL DE UMA ABORDAGEM CONTEXTUAL

A partir do pressuposto de que a História e Filosofia da Ciência podem dar uma contribuição significativa para a formação dos alunos da Educação Básica, uma primeira pergunta deveria ser colocada antes do enfrentamento do problema prático de criar experiências concretas.

Que tipo de abordagem da HFC deveria ser utilizado na Educação Básica?

Os sistemas educacionais tendem a partir de uma visão geral, das primeiras séries da escolarização, para a particular, que culmina com a profissionalização da graduação e a especialização da pós-graduação. Portanto, quanto mais cedo essa abordagem for

introduzida, mas genérica ela deve ser. Na Educação Básica brasileira, existem noções de ciências naturais no primeiro segmento, uma disciplina denominada “Ciências Naturais” no segundo segmento, culminando com a separação e ênfase em três delas, a Biologia, a Química e a Física no Ensino Médio. Nesse último nível da Educação Básica, apesar da separação das Ciências Naturais, ainda nos encontramos num momento em que discussões como a da formação da cidadania estão muito mais presentes do que no estágio seguinte, a graduação. Portanto, nesse sentido, é fundamental que as disciplinas Física, Química e Biologia do Ensino Médio permitam aos alunos refletir sobre a ciência, no sentido de identificar seus limites, mas, também, as possíveis respostas que as ciências podem construir para os problemas enfrentados pelos homens ao longo da história.

Nesse sentido, defende-se que a abordagem histórico-filosófica deva privilegiar discussões que permitam discutir a construção dos conceitos científicos dentro de um contexto mais amplo, como parte e em grande interação com outras áreas da cultura humana (Zanetic, 1989; 2006). Portanto, essa abordagem da História e Filosofia da Ciência, que denominamos contextual, sem abandonar os conteúdos próprios da disciplina que está sendo ensinada, são apresentadas dentro de um contexto maior (Reis, Guerra, Braga, 2009).

A abordagem contextual pode contribuir de forma significativa para a construção de uma visão complexa do conhecimento (Morin, 2001), abrindo portas entre as diversas ciências naturais e estabelecendo pontes entre áreas aparentemente distantes dessas ciências, como as Artes.

Essa abordagem contribui, também, para a percepção de que o conhecimento científico é uma construção histórica, realizada por homens e mulheres que pensam as grandes questões de seu tempo e que participam junto com outros homens da sociedade em que vivem. Essa visão tende a quebrar a ideia de um conhecimento descoberto, fruto de lampejos geniais de homens isolados. Descobrir é descortinar uma verdade pré-existente. Ela já está lá, independente dos homens e mulheres que trabalham com a ciência. Se fosse assim, a “descoberta” poderia acontecer em qualquer tempo e local.

A abordagem contextual permite assim uma visão mais ampla do processo de construção do conhecimento científico, que não contempla apenas os conteúdos da ciência, permitindo ao aluno tornar sua visão da Natureza da Ciência mais complexa.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O grande desafio que se coloca é o da produção dos conteúdos escolares nessa concepção e sua aplicação na realidade da escola, a partir de experiências concretas de sala de aula.

Visando concretizar a proposta de introdução de uma concepção histórico-filosófica no ensino de ciências a partir de uma abordagem contextual, procurou-se desenvolver um projeto piloto no ensino de Física de uma escola sediada na cidade do Rio de Janeiro. A escola contava com 120 alunos da 1ª série do Ensino Médio com idades entre 14 e 16 anos e a carga horária semanal de Física era de 4 horas/aula. Essa carga horária de 4 horas/semanais permitiu que a experiência, aqui discutida, fosse implementada após a aplicação de um curso piloto no ano anterior. Naquele ano, a carga horária de física foi distribuída de forma que 3 horas/aulas foram destinadas ao estudo conteúdos de mecânica, como cinemática, leis de Newton e leis de conservação. Na 1 hora/aula restante, os alunos estudaram Cosmologia.

Nesse conjunto de aulas, discussões travadas durante as aulas de mecânica foram retomadas e aprofundadas. Dessa forma, o trabalho aqui apresentado foi resultado do aperfeiçoamento de uma proposta desenvolvida nos dois anos anteriores.

Alunos que tinham participado das experiências anteriores e haviam se encantado com a Cosmologia fizeram sugestões ao longo das avaliações finais afirmando que seria muito interessante se fossem abordados temas mais contemporâneos nos cursos regulares. Essa avaliação juntamente com a percepção de que o ensino de Física necessita introduzir temas de Física Moderna e Contemporânea (Ostermann & Moreira, 2000, pp. 24-26; Terrazzan, 1992, pp. 210-212; Guerra; Reis & Braga, 2010, p. 570), fez com que em 2010 o curso sofresse uma reformulação e a separação anteriormente descrita desaparecesse. Dessa forma, o estudo do tema Cosmologia passou a ser o eixo condutor do programa de física da primeira série do Ensino Médio da escola anteriormente referida.

O curso foi, então, estruturado para desenvolver com os alunos estudos dos modelos cosmológicos, da Antiga Grécia ao Big Bang. Para isso optou-se por uma abordagem contextual da História e Filosofia da Ciência, onde a discussão dos temas possibilitasse compreender melhor como os homens foram construindo explicações para o funcionamento do universo e como elas estavam intimamente relacionadas com o ambiente cultural da época em que foram desenvolvidas.

Neste trabalho, serão apresentados o caminho trilhado nesse curso regular de Física para a introdução do tema Cosmologia. Portanto, discutiremos a reconstrução de um novo conteúdo surgido da interação de diversos textos acadêmicos no campo da Física, da Astronomia, da Filosofia, da História, das Artes Plásticas e da Literatura. A apresentação, entretanto, seguirá a trajetória do curso.

4. COSMOLOGIA GREGA E MEDIEVAL

O primeiro momento do curso apresentou as ideias aristotélicas sobre o funcionamento do universo, passando para o estudo do sistema ptolomaico como forma de compreender a coerência da Astronomia e da Física medievais. Um dos pontos chave desse momento foi a discussão de que a Física de Aristóteles era a base teórica sobre a qual se sustentava a Astronomia de Ptolomeu (Uritam, 1974, p. 813). Em seguida, trabalhou-se a aceitação da Astronomia de Ptolomeu na Idade Média e que o questionamento feito por Copérnico e outros dessa astronomia implicava na busca de uma nova física que sustentasse explicações a respeito, por exemplo, da queda dos corpos diferentes daquelas contidas na Física de Aristóteles. Dessa forma, discutiu-se com os alunos que não foram apenas questões religiosas que mantiveram o sistema de Ptolomeu válido por quase 14 séculos (Uritam, 1974, pp. 815-16). Esse primeiro momento foi fundamental no desenvolvimento do trabalho, pois permitiu problematizar junto aos alunos a visão simplista de que apenas a religião dificultou o desenvolvimento da ciência medieval.

Ao longo de todo o curso apresentou-se a Física como um conhecimento historicamente construído. Dessa forma, os alunos leram textos, construídos especificamente para o curso, e participaram de discussões que destacavam que o universo medieval estava contido em um espaço fechado e hierarquizado, como podemos ver na figura 1 e que isso se refletia não só

na cosmologia aristotélica, mas também em outras áreas como as artes plásticas. Ambas as formas de apropriação da realidade privilegiavam um olhar que não era neutro diante do mundo que queriam representar (Shlain, 1991, pp. 57-61).



Fig. 1. Duccio di Siena – Última Ceia (1308-1311) Museo dell’Opera del Duomo, Siena.

Para concretizar tais discussões foram apresentados alguns afrescos e pinturas medievais. Uma das pinturas discutidas com os alunos foi a “Última Ceia” de Duccio de Siena (1255-1319) pintada entre 1308 e 1311. Essa pintura representa o espaço qualitativamente distinto, com uma clara aplicação de valores hierárquicos. As figuras que se localizam no fundo, entre elas Jesus Cristo, têm maior estatura do que as da frente. O tamanho diferenciado representa a importância das figuras retratadas naquela sociedade e não os seus lugares relativos no espaço (Francastel, 1990, pp. 22-23).



Fig.2. Pietro Lorenzetti – Entrada de Cristo em Jerusalém (c.1320) Afresco Igreja Inferior, San Francesco, Assis.

Outro quadro apresentado aos alunos foi o intitulado “Entrada de Cristo em Jerusalém” de Pietro Lorenzetti (c.1348), figura 2. Nesse quadro, a hierarquização do espaço medieval e a

dicotomia céu e terra também se faz presente. O tamanho de Jesus Cristo é, dentro da perspectiva clássica, desproporcional aos demais.

A discussão das pinturas foi confrontada com a Física aristotélica, que apresenta um mundo dicotomizado, uma separação entre mundo sublunar e supralunar (Franklin, 1976, p. 532). Segundo Franklin, Aristóteles em seu livro *Sobre o Céu* apresenta sua teoria dos cinco elementos: terra, água, ar, fogo e éter. Segundo ele, todos os corpos do universo são formados por esses elementos. Os quatro primeiros formam os corpos que se encontram entre a Terra e a Lua (mundo sublunar) e o quinto é o único constituinte dos corpos celestes (mundo supralunar).

O sublunar é o mundo da mudança e da corrupção, onde os corpos alteram suas características ao longo do tempo. Nesse mundo, os corpos têm movimentos que estão determinados pelos elementos que os compõem. Um corpo movimenta-se buscando o seu lugar natural, assim, os corpos mais pesados (com maior quantidade de terra e água) caíram mais rapidamente do que os mais leves. Por isso, o movimento natural dos corpos no mundo sublunar é vertical para baixo (corpos pesados) ou para cima (corpos leves). Nesse momento, procurou-se discutir com os alunos o conceito de movimento violento. Esse caso é considerado quando os corpos são obrigados por um agente externo a moverem-se contra a sua natureza. Por exemplo, quando uma flecha é lançada por um arco e descreve uma trajetória curvilínea. A flecha necessita ser impulsionada por um agente, por isso esse movimento era chamado por Aristóteles de violento (Franklin, 1976, pp. 530-533).

O movimento no mundo sublunar foi confrontado com aqueles no mundo supralunar, onde existem apenas movimentos naturais. No mundo supralunar, todos os corpos celestes são constituídos de éter, a quinta essência. A característica desse elemento é ter movimento circular com velocidade constante. Esse foi um ponto crucial na primeira parte do curso, pois permitiu evidenciar que a proposta de existência de um meio especial, o éter, deu suporte à defesa, que não se restringiu ao mundo medieval, de que todos os corpos celestes teriam movimentos circulares uniformes (Franklin, 1976, p. 529).

A primeira parte do curso foi encerrada, discutindo-se que o espaço medieval não era homogêneo nem vazio e que assim os corpos não poderiam se mover livremente, pois não poderiam passar de um “mundo” a outro. Existiria uma hierarquia dos lugares naturais (Cohen, 1988, pp. 32-33).

5. COSMOLOGIA CLÁSSICA - NOVOS OLHARES SOBRE O CÉU

O segundo momento do curso procurou tratar da Astronomia moderna. Nesse momento, foram retomadas discussões da primeira parte do curso para tratar das dificuldades enfrentadas para a aceitação do sistema de Copérnico. Dentre essas dificuldades, enfatizou-se àquela relativa à falta de uma Física capaz de substituir a aristotélica e dar sustentação ao sistema heliocêntrico. Com isso discutiu-se que a troca de posição entre a Terra e o Sol não se constituiu em tarefa simples. As observações de Tycho Brahe (1546-1601), a cinemática celeste de Johannes Kepler (1571-1630) e a terrestre de Galileu Galileu (1564-1642) demoliram o mundo aristotélico, mas não foram capazes de responder a todas as perguntas possíveis acerca do funcionamento do novo sistema de mundo proposto (Cohen, 1988, pp. 185-228).

Um ponto enfatizado nesse momento foi a mudança ocorrida na concepção espacial do homem moderno. Agora, o espaço era percebido como homogêneo, isotrópico e infinito. Tal visão surgiu primeiramente na arte com novas formas de representação pictórica pelos artistas renascentistas (Edgerton, 1993, pp. 23-24).

Para desenvolver essa ideia foram apresentadas algumas pinturas renascentistas como a “Última Ceia” de Leonardo da Vinci, figura 3. Na discussão desse quadro, foi enfatizado o fato de da Vinci ter usado a técnica do ponto de fuga para ressaltar o papel central de Jesus Cristo naquela cena. A técnica da perspectiva trouxe uma ruptura com a representação pictórica medieval, onde o espaço finito hierarquizado era utilizado para evidenciar a importância social dos personagens retratados.



Fig. 3. Leonardo da Vinci – Última ceia 1495-1497
Afresco, Igreja Santa Maria delle Grazie.

As pinturas renascentistas escolhidas para o trabalho em sala de aula apontavam espaços homogêneos e infinitos. Espaços em que a separação céu e terra do medievo não estavam evidentes. O diálogo com as representações pictóricas do Renascimento trouxe às aulas de Física um debate capaz de mostrar que naquele ambiente cultural alguns homens realizaram representações pictóricas que rompiam com o passado, ao mesmo tempo em que outros homens construíam novas explicações, relativamente ao pensamento medieval, para os movimentos terrestres e celestes, como a do movimento eterno e da infinitude. Essas ideias não foram novas no pensamento ocidental, pois já estavam presentes em alguns filósofos gregos, mas durante todo o período medieval o que vigorou foi uma visão fechada do universo. Conceitos como o da inércia linear só poderiam surgir num mundo em que se conseguisse imaginar a infinitude uma vez que, num universo dicotomizado e num espaço qualitativamente diferenciado como o medieval (mundo sublunar X mundo supralunar) um corpo não poderia mover-se indefinidamente a ponto de transitar entre os dois mundos. Aliado a esse problema pensar a inércia exigia uma Física que não considerasse a necessidade de uma força motora para manter o movimento (Franklin, 1976, p. 532).

Nessa discussão, Galileu foi um personagem que mereceu destaque. Ele foi apresentado como um cidadão de seu tempo que soube como poucos juntar o universo artístico ao

científico. Seu treinamento em desenho, na Itália renascentista, lhe foi muito útil para ver o que outros não foram capazes de enxergar. Suas observações com a luneta, em 1609, levaram-no a concluir que a superfície da Lua era similar à da Terra uma vez que era formada por montanhas e crateras (Edgerton, 1993, pp. 235-243).

Na mesma época, o astrônomo inglês Thomas Harriot (1560-1621), utilizou uma luneta semelhante para observar a Lua. Apesar da semelhança dos instrumentos e do corpo observado, a representação final dos objetos, feita pelos dois filósofos naturais foi distinta, como podemos ver nas figuras 4 e 5.



Fig. 4. Harriot – 1609
Edgerton Jr (1993)

Para discutir esse tema, apresentamos aos alunos, sem qualquer identificação, as representações da Lua feitas por Harriot e por Galileu. Em seguida, lançamos a seguinte pergunta. O que representam esses desenhos?

Do desenho de Galileu, a maioria dos alunos conseguiu reconhecer a Lua. O mesmo não ocorreu com o desenho de Harriot. A partir do debate em torno ao que representa cada desenho, destacou-se que o contexto em que Galileu vivia, a Itália renascentista, foi fundamental para que o identificasse no céu um novo espaço, com a projeção de suas saliências sobre o solo, formando sombras que permitem ver a tridimensionalidade do espaço (Edgerton, 1993, pp. 235-243).

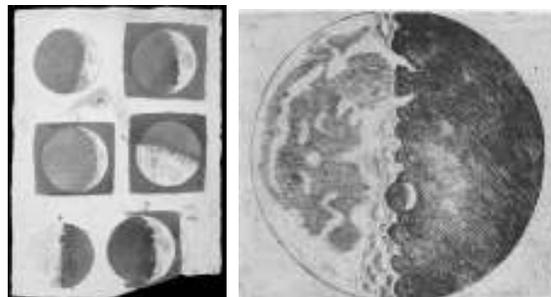


Fig. 5. Galileu - 1609
Edgerton Jr (1993).

O segundo momento foi finalizado destacando-se que em 1610 Harriot refez seu desenho após ver os de Galileu, como ilustrado na figura 6. Esses novos desenhos representavam um

novo olhar de Harriot para a Lua. Assim, comparando esse novo desenho com o de Galileu é possível afirmar que os desenhos de Harriot eram de pior qualidade técnica do que os de Galileu, pois Harriot não dominava como Galileu a técnica da perspectiva. Ou seja, foi a técnica artística de Galileu que lhe proporcionou o conhecimento sobre a Lua que Harriot não foi capaz de construir no primeiro momento.

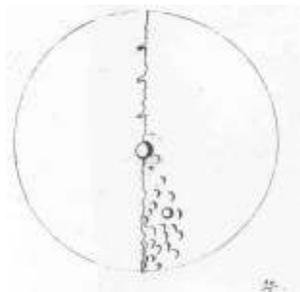


Fig. 6. Harriot - 1610
Edgerton Jr (1993).

6. A UNIFICAÇÃO DA FÍSICA CELESTE COM A TERRESTRE

O ponto central da Física Clássica foi o estudo das quatro Leis de Newton. Para o estudo desse tópico foram destinadas 32 horas/aulas. Além de explorar as questões teórico-conceituais em torno do tema, foi apresentado um resumo da obra de Newton e o contexto sociocultural em que ele desenvolveu seu trabalho. Isso foi feito a partir de um texto de 28 páginas escrito pelos autores onde além das leis de Newton discutiu-se o ambiente científico, social e cultural da época e os desdobramentos posteriores. Para produzir esse material de consulta para os alunos usamos como referência, além dos *Principia* (Newton, 1962, textos secundários como os de Cohen & Westfall, 1995 e os de Thayer, 1974. O objetivo desse enfoque foi permitir aos alunos compreenderem que a física newtoniana surgiu como uma nova teoria capaz de responder às indagações que persistiam relativamente ao sistema heliostático. Trabalhamos as 4 leis juntas para que a obra newtoniana fosse compreendida em sua totalidade e os alunos pudessem entender porque ela foi tão impactante. Os alunos foram confrontados, também, com o fato de que a mecânica de Newton abriu novos campos de pesquisa dentro da astronomia. Ela deixou de se restringir à descrição do movimento dos planetas e cometas e passou a dedicar-se a um Universo mais amplo em que a astronomia estelar e o estudo das origens do Sistema Solar tornaram-se fundamentais.

Dentro do âmbito do estudo da origem do Sistema Solar, procurou-se introduzir o tema de estudo através dos sistemas cosmológicos de Kant (1724-1804) e Laplace (1749-1817) (Kant, 1946 e Laplace, 1946). Os dois sistemas foram apresentados como uma tentativa de aplicação da física newtoniana à solução do problema da origem do sistema solar. Esse foi um momento muito importante para as discussões desenvolvidas em torno à construção do conhecimento científico. Os alunos já conheciam Kant das aulas de Filosofia. Isso permitiu discutir tanto a abrangência do trabalho daquele filósofo, quanto o fato do trabalho de Newton ter extrapolado as fronteiras da Física no século XVIII.

Essa parte do curso foi encerrada com a discussão de que a nova visão de mundo que vigorou a partir do século XVII coroou a visão tridimensional, homogênea e isotrópica do espaço. Com isso, a

Lei da Gravitação Universal de Newton concretizou em termos de Física a unificação céu e Terra, ou seja, uma única física era capaz de explicar os movimentos terrestres e celestes.

7. NOVAS CONCEPÇÕES DE ESPAÇO E TEMPO

Na próxima etapa do curso, foram apresentadas as contestações produzidas por alguns pintores, matemáticos e escritores do século XIX em relação à visão clássica de espaço e de tempo. Na primeira metade do século, o surgimento das geometrias não euclidianas começou a modificar a visão hegemônica de um espaço plano euclidiano, o que trouxe diversas consequências para a interpretação e representação espacial ao longo do século (Shlain, 1991, pp. 101-108).

No caso da pintura, os alunos foram apresentados a pintores do século XIX que confrontados com novidades tecnológicas de seu tempo, como a fotografia, acreditaram que a representação clássica de espaço, baseada na perspectiva tridimensional renascentista, e a de um tempo absoluto e independente do espaço não mais conseguiam traduzir as possibilidades de representação pictórica do espaço-tempo (Miller, 1996, pp. 413-416; 2001, pp. 105-106).

Um dos pintores apresentados aos alunos foi Claude Monet (1840-1926). As séries de quadros intituladas “Monte de Feno” e “Catedral de Rouen” em que o pintor representa a mesma temática em diferentes momentos foram projetadas numa tela para facilitar a discussão. Esse estudo ocorreu na perspectiva de mostrar que o tempo para aqueles pintores tornou-se algo fundamental para a compreensão do espaço. Para Monet, como ilustrado na figura 7, a passagem do tempo altera o espaço e por isso o mesmo deve ser representado de forma distinta nos diferentes momentos.



Fig. 7. Manet - Catedral de Rouen 1892 a 1894 Museu d'Orsay.

Com esse percurso construiu-se um panorama onde as relações entre ciência e arte dialogaram intensamente. A visão da ciência como parte da cultura em diferentes épocas

possibilitou a emergência de um novo conhecimento, que sem desprezar as disciplinas clássicas, passou a tratá-las como faces de um mesmo movimento intelectual.

8. COSMOLOGIA CONTEMPORÂNEA

Na introdução de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) houve a preocupação de desenvolver o tema de forma a problematizar a visão clássica de mundo e as transformações que foram introduzidas pela Física do século XX nas explicações sobre o funcionamento do Universo.

Na Teoria da Relatividade Restrita e Geral, enfatizou-se as mudanças que ocorreram em relação à Física Clássica nas concepções de espaço, tempo, massa e força gravitacional (Williams, 1984; Holton, 1988; Pais, 1993). O estudo foi realizado de forma a explorar exemplos que possibilitassem aos alunos compreenderem as mudanças conceituais dessas grandezas físicas oriundas com a Teoria da Relatividade Restrita e Geral (Galison, 2005, pp. 223-273). Não houve a preocupação de explorar o formalismo matemático inerente ao tema. Dedicou-se 8 horas/aulas a esse trabalho e para concretizar a discussão, fez-se uso de textos de 14 páginas construídos exclusivamente para o curso usando como referências básicas textos de Williams, 1984; Einstein, 1999; Galisson, 2005 e Stachel, 2005. Após a formalização dessa etapa do curso, discutiu-se as implicações da Teoria da Relatividade Geral para as novas concepções cosmológicas, inclusive, abordando a resistência inicial de Einstein em aceitar uma consequência de sua teoria: a expansão do Universo (Singh, 2006, pp. 141-155).

Por fim, a controvérsia entre os defensores da teoria do Universo Estacionário e do Big Bang foi trabalhada. Apresentou-se as ideias de George Gamow (1904-1968) e as contestações de Fred Hoyle (1915-2001). Os conhecimentos dos alunos se enriqueceram com as discussões sobre, por exemplo: a formação dos elementos pesados, sobre a origem das estrelas e outros aspectos científicos da questão (Singh, 2006, pp. 267-329; Guth, 1997, pp. 74-85).

Como forma de terminar a abordagem cultural para o ensino de Física, os alunos leram o conto de Ítalo Calvino intitulado “Tudo num ponto”, do livro *Cosmicômicas* (1999). Nesse conto, Calvino faz uma paródia sobre a história do universo onde todos os personagens encontram-se “espremidos como sardinha em lata”, segundo suas palavras, mas o próprio autor problematiza a afirmação dizendo que não havia nem mesmo espaço para estarem espremidos. Depois ele descreve a explosão inicial que lança os personagens aos quatro cantos. Através do conto ele consegue, de forma literaria, dar uma noção clara do que fala a teoria do Big Bang e a ideia da singularidade inicial.

Os alunos leram o conto e, em seguida, escreveram um pequeno identificando, onde o mesmo se aproximava da visão científica que tinha sido estudada. Com isso o texto permitiu ampliar a discussão travada em torno à controvérsia dos modelos cosmológicos, além de possibilitar aos alunos perceber que a ciência é um conhecimento que não se restringe ao mundo dos cientistas. Em relação à avaliação, é muito difícil dimensionar o quanto os alunos apreenderam dos novos conteúdos introduzidos ao longo do ano. O curso mobilizou bastante os alunos. Eles participaram ativamente das atividades propostas e das discussões travadas em sala de aula. As provas foram elaboradas de forma a conter questões que envolviam as discussões histórico-filosóficas trabalhadas durante o curso, exercícios de vestibulares sobre

física clássica e exercícios sobre Teoria da Relatividade Restrita e Geral, além de cosmologia contemporânea.

Para que a introdução de temas de FMC não sobrecarregasse o programa, houve escolhas inevitáveis de temas. Alguns temas tradicionalmente trabalhados nas aulas de Física do ensino Médio como cinemática escalar e vetorial foram praticamente eliminados. Apenas os conceitos de deslocamento, velocidade e aceleração foram trabalhados com os alunos. Todo formalismo matemático inerente ao estudo da cinemática escalar foi apresentado nas aulas de matemática, quando o professor dessa disciplina trabalhou funções com os alunos. Essa escolha permitiu desenvolver um curso para a primeira série do Ensino Médio em que a abordagem histórica, filosófica e cultural pudesse estruturar o estudo de temas de Física Moderna e Contemporânea.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Construir um conhecimento complexo não é uma tarefa fácil. A elaboração dos novos conteúdos exige ainda um longo caminho a ser percorrido que envolve conhecimentos múltiplos em diversas áreas do saber. A forma de sua introdução no bojo dos conteúdos das ciências é ainda um problema aberto. Seria por meio de enxertos no currículo como aqui apresentado?

Os primeiros passos ainda devem ser assim. Os enxertos têm o papel de provar a viabilidade dessa nova concepção de forma pontual, mas o incremento desses pontos pode começar a delinear uma reestruturação curricular.

Outra questão pode ainda emergir dessa experiência. A abordagem contextual poderia simplificar demasiadamente os conteúdos disciplinares da Física em prol de um conhecimento generalizado, mas raso do ponto de vista disciplinar?

Acreditamos que não. O equilíbrio entre a profundidade disciplinar e a generalização pode estar inserido no bojo daquilo que foi comentado anteriormente entre internalismo e externalismo. A busca por um equilíbrio e a tendência mais para um lado ou para outro vai depender da realidade educacional em questão. A não padronização das horas/aulas dedicadas à Física no Brasil, ou as demais ciências, acaba colocando uma grande diversidade de possibilidades.

O último aspecto importante a ser destacado é que não se abriu mão dos conteúdos tradicionalmente abordados nas escolas, mas a ênfase histórico-cultural permitiu introduzir temas relevantes ao Ensino Médio, como cosmologia. Dessa forma, os conteúdos ganharam em significado contribuindo para uma formação mais sólida sobre o ponto de vista da formação ampla para a cidadania, onde a ciência desempenha um papel indispensável quando apreendida juntamente com seus aspectos históricos, filosóficos e culturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, Marco; GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio. The Role of Historical-Philosophical Controversies in Teaching Sciences: The Debate Between Biot and Ampère. *Science & Education* **21** : 921-934 , 2010.
- CALVINO, Italo. *As Cosmicômica*. São Paulo: Companhia das Letras, 1999.
- COHEN, I. Bernard. *O Nascimento de Uma Nova Física*. Lisboa: Gradiva, 1988.
- COHEN, I. Bernard & WESTFALL, Richard (eds.). *Newton*. New York: Norton Critical Edition, 1995.
- . *The Heritage of Giotto's Geometry: Art and Science on the eve of the scientific revolution*. New York: Cornell University Press, 1993.
- EINSTEIN, A. *A Teoria da Relatividade especial e geral*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.
- FRANCASTEL, Pierre. *Pintura e Sociedade*. São Paulo: Martins Fontes, 1990.
- FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the Middle Ages. *American Journal of Physics* **44** (6): 529- 545, 1976.
- GALISON, Peter. *Os Relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré*. Lisboa: Gradiva, 2005.
- GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio; BRAGA, Marco. Um Julgamento no Ensino Médio - Uma estratégia para Trabalhar a Ciência sob Enfoque Histórico-filosófico. *Física na Escola* **3** (1): 8-11, 2002.
- . Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos do século XIX. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **27** (3): 568-583, 2010.
- GUTH, Alan. *O Universo estacionário: um relato irresistível de uma das maiores ideias cosmológicas do século*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- HOLTON, Gerald; *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge: Harvard University Press, 1988.
- HOTTECKE, Dietmar. How and What Can We Learn From Replicating Historical Experiments? A Case Study. *Science & Education* **9**: 343-362, 2000.
- HOTTECKE, Dietmar; SILVA, C. Cibelle. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education* **20** : 293-316, 2011.
- STACHEL, J. *O ano miraculoso de Einstein*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.
- KANT, I. *Historia Natural Y Teoría General del Cielo: ensayo sobre la constitución y el origen mecánico del universo, tratado de acuerdo a los principios de Newton*. Buenos Aires: Editorial Lautaro, 1946.
- KLASSEN, S. The Application of Historical Narrative in Science Learning: The Atlantic Cable Story. *Science & Education* **16**: 335-352, 2007.
- LAPLACE, Pedro S. *Origen del Sistema Solar*. Buenos Aires: Editorial Lautaro, 1946.
- MARTINS, A. F. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24** (1): 112-131, 2007.
- MEDINA, M. e BRAGA, M. O Teatro como Ferramenta de Aprendizagem da Física e de Problemática da Natureza da Ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **27** (2): 313-333, 2010.

- MILLER, Arthur, I. *Insights of Genius: imaginary and creativity in science and art*. New York: Copernicus, 1996.
- . *Einstein, Picasso: space, time, and the beauty that causes havoc*. New York: Basic Books, 2001.
- MORIN, Edgar (org.). *A religião dos saberes: o desafio do século XXI*. São Paulo: Bertrand Brasil, 2001.
- NEWTON, Isaac. *Principia*. California: University of California Press, 1962.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências* **5** (1): 23-48, 2000.
- PAIS, Abraham. *Subtil é o Senhor: vida e pensamento de Albert Einstein*. Lisboa: Gradiva, 1993.
- REIS, J. C.; GUERRA, A. & BRAGA, M. Física e Arte: Uma Proposta para a Compreensão Cultural da Ciência. *Enseñanza de las Ciencias* **vol. extra**: 1763-1766, 2009.
- SHLAIN, Leonard. *Art & Physics: Parallel Visions in Space, Time & Light*. New York: Quill William Morrow, 1991.
- SINGH, Simon. *Big Bang*. Rio de Janeiro: Record, 2006.
- TERRAZZAN, Eduardo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **9** (3): 209-214, 1992.
- THAYER, H. S. (ed.). *Newton's Philosophy of Nature: selections from his writings*. New York: Hafner press, 1974.
- URITAM, R. A. Medieval Science, the Copernican Revolution and Physics Teaching. *American Journal of Physics* **42** (10): 809- 819, 1974.
- WILLIAMS, L. P. (ed.). *La Teoría de la Relatividad*. Madrid: Alianza Editorial, 1984.
- ZANETIC, João. *Física também é cultura*. Tese de doutorado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.
- . Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. *História, Ciência, Saúde: Manguinhos* **13**: 55-70, 2006.

UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO PARA OS TIPOS DE APLICAÇÃO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO CIENTÍFICA: IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA E DESENVOLVIMENTO¹

William McComas *

Resumo: *Pesquisadores em ensino de ciências têm ressaltado a recomendação de que o ensino de ciências de boa qualidade inclui tanto o ensino de conteúdos científicos relevantes quanto discussões enriquecedoras sobre como o conhecimento científico é criado na ciência e como as ideias são analisadas – o que é frequentemente chamado de Natureza da Ciência (NdC). Da mesma forma, há um consenso crescente sobre quais aspectos específicos de NdC deveriam ser ensinados. Sendo assim, chegou a hora de considerar a importante, mas pouco definida, tarefa de como ensinar NdC e questões relacionadas a ela. Este trabalho examina o papel a ser desempenhado na incorporação de história da ciência ao ensino de NdC, partindo da discussão de pressupostos, da revisão de estratégias anteriores e do levantamento de exemplos, juntamente com o objetivo final de propor uma classificação de abordagens educacionais da história da ciência, no sentido de subsidiar a prática, guiar pesquisas futuras e compartilhar definições. O esquema discutido aqui inclui as abordagens da história da ciência que trabalham com o uso de fontes originais, estudos de caso e narrativas, biografias e autobiografias, conteúdos históricos incluídos em livros-texto, dramaturgia, atividades de interpretação (role-playing) e reproduções experimentais. Na conclusão, apresentamos uma análise das dimensões a serem consideradas para avaliar o uso da história da ciência no ensino de ciências.*

Palavras-chave: *História da ciência, Natureza da ciência, Filosofia da ciência, Ensino e aprendizagem de ciências*

A PROPOSED TYPOLOGY OF APPROACHES FOR THE APPLICATION OF THE HISTORY OF SCIENCE IN SCIENCE INSTRUCTION: IMPLICATIONS FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

Abstract: *Science educators have embraced the recommendation that high quality science teaching includes both relevant science content and rich discussions of how science knowledge*

¹ Tradução de Breno Arsioli Moura

*Parks Family Professor of Science Education
University of Arkansas. College of Education and Health Professions
Project to Advance Science Education (PASE). mcomas@uark.edu

is created in science and how truth claims are evaluated - often called the Nature of Science (NOS). There is also increasing agreement on which specific aspects of NOS should be taught. Therefore, the time has come to consider the important but less defined task of how to teach NOS and related constructs. This paper examines the role to be played in the incorporation of history of science (HOS) approaches to the teaching of NOS by discussing the rationales, reviewing prior strategies, considering examples with the ultimate goal of proposing a typology of history of science instructional approaches to inform practice, guide future research and provide shared definitions. The plan offered here includes HOS approaches that involve the use of original works, case studies and stories, biographies and autobiographies, textbook inclusion of HOS, dramatic presentations, role-playing activities and experimental reenactments. The paper concludes with an analysis of the necessary dimensions to consider when evaluating the use of HOS in science. Write here the abstract of your paper.

Key-words: *History of Science, Nature of Science, Philosophy of Science, Science Teaching and Learning*

1. INTRODUÇÃO

Na campanha contínua para melhorar a educação científica, uma batalha que possivelmente ganhamos foi a da inclusão de elementos de natureza da ciência (NdC) nas recomendações oficiais orientadoras na elaboração de currículos de ciências. De maneira crescente, documentos oficiais nos estados norte-americanos (os quais controlam efetivamente o que é ensinado dentro de suas fronteiras), no nível nacional as *U.S. National Science Education Standards* (Orientações Nacionais para a Educação Científica nos EUA) (NRC, 1996)³ e muitas outras nações agora incluem recomendações explícitas para incluir a natureza da ciência ao longo da aprendizagem científica. Coletivamente, nós aparentemente abraçamos o clamor de 1970 vindo de Carey e Strauss de que "se o entendimento do professores e a filosofia da ciência não são congruentes com as interpretações atuais da natureza da ciência,... então os resultados educacionais não representarão a ciência" (p. 363). Quase não há dúvidas de que a NdC deveria ter um papel central no currículo científico e está na hora dos professores combinarem tanto Natureza da Ciência quanto conteúdos mais tradicionais, no sentido de garantir que os estudantes entenderão o que a ciência é e como ela funciona.

O termo "natureza da ciência" engloba elementos que definem como a ciência atua, redigidos em linguagem acessível para a educação científica. A descrição se baseia em princípios vindos da:

[...] história, sociologia e filosofia da ciência combinadas com a pesquisa a partir das ciências cognitivas, tais como a psicologia, em uma rica descrição do que a ciência é, como funciona, como os cientistas atuam como um grupo social e como própria sociedade ao mesmo tempo direciona e reage aos empreendimentos científicos (McComas, Clough e Almazroa, 1998, p. 4).

A imagem de ciência a partir da NdC é indicada para estudantes da educação básica e

³ Estas orientações não têm força de lei, mas são regularmente consultadas no planejamento da educação científica em alguns estados.

superior, ao invés de ser um objetivo educacional para aqueles que serão historiadores ou filósofos da ciência.

Outro frente da campanha a favor da NdC que parece estar consolidada é aquela para definir a abrangência dos aspectos da NdC necessários e suficientes para o ensino básico. Felizmente, tem-se chegado a um consenso sobre a definição de alguns aspectos da NdC. Osborn e colaboradores (2003), McComas (1998; 2008a), Lederman (2002), por sua vez, têm trabalhado sobre conteúdos de NdC muito semelhantes, incluindo elementos tais como as distinções entre lei e teoria, o papel da criatividade na ciência, o papel de elementos históricos, culturais e sociais e a necessidade de evidência empírica na pesquisa científica.

Mesmo se consideramos que há um acordo sobre a função e as características básicas da NdC na educação científica, ainda enfrentamos o que parece ser a batalha final da NdC. Este último desafio se resume em como incluir a natureza da ciência na educação científica. Claramente, tem havido muitas sugestões sobre como atender a demanda de ensino, mas nada ainda de forma muito sistemática. Este trabalho focará na questão do ensino por meio da análise do papel que os vários usos da história da ciência podem ter para auxiliar a compreensão dos estudantes sobre o que é fazer ciência. Nós refletiremos sobre uma proposta de classificação baseada na revisão das diversas maneiras pelas quais a história da ciência tem sido utilizada anteriormente, ao mesmo tempo em que consideramos a função que essas estratégias podem desempenhar no ensino de ciências futuro.

A premissa deste trabalho é a de que a história da ciência pode ser tanto um meio para transmitir lições importantes sobre como a ciência funciona e um fim em si. Aulas com conteúdos históricos podem humanizar a ciência, à medida que incluem as personalidades que moldaram o destino e os resultados da atividade científica. Nesse sentido, a história da ciência vai ao encontro do desafio presente nos *U.S. National Science Education Standards* de mostrar "a ciência como uma atividade humana" (NRC, 1996). Ao mesmo tempo, conteúdos de história da ciência cuidadosamente selecionados podem ser utilizados como outra maneira de contar como a ciência trabalha, quais são suas regras e tradições e como o conhecimento é estabelecido na ciência.

2. RAZÕES PARA UTILIZAR A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

A defesa pela inclusão da história da ciência nas salas de aula de ciências não é nova. Há mais de um século e meio, o Duque de Argyll, em seu Discurso Presidencial à *British Association for the Advancement of Science* (Associação Britânica para o Desenvolvimento da Ciência) em 1855 afirmou que "O que queremos para o ensino da juventude não é nada mais que simples resultados como métodos e, sobretudo, história da ciência" (Matthews, 1992, p. 11). Nos Estados Unidos de cem anos atrás, o "Relatório da Comissão de Políticas Educacionais sobre a Educação de Todos os Jovens Americanos" novamente trouxe a promessa do uso da história da ciência (1944), afirmando:

Estes cientistas são pensados como homens vivos (sic), encarando problemas dos quais eles não sabem as respostas, e confrontando muitos obstáculos enraizados na ignorância e no preconceito. Pela imaginação, os estudantes observam como os cientistas trabalham, notando particularmente os métodos que eles usam para solucionar seus problemas.

Em 1947, membros da *American Association for the Advancement of Science President's Scientific Research Board* [Associação Americana para o Progresso do Conselho Científico] sugeriram que "Muito mais deveria ser feito da história da ciência com seu teor dramático e de aventuras, que apela fortemente para os interesses das pessoas mais jovens e despertam sua imaginação" (Steelman, 1947, p. 86). Mais recentemente, os *U.S. National Science Education Standards* (NRC, 1996) incluem uma seção específica sobre a história e a natureza da ciência, principalmente para ilustrar o papel desempenhado pelos humanos, a natureza do conhecimento científico e as perspectivas históricas da ciência. Os *Standarts* fazem a proposta específica de que a história da ciência pode ser útil nesse sentido, com a recomendação de que:

[...] por meio do uso de pequenos contos, filmes, vídeos e outros exemplos, professores da educação básica podem introduzir exemplos históricos interessantes de homens e mulheres (incluindo as minorias e pessoas com deficiência) que têm feito contribuições para a ciência. Estas histórias podem evidenciar como estes cientistas trabalharam – ou seja, as questões, procedimentos e contribuições de diversos indivíduos para a ciência e tecnologia. (NRC, 1996, p. 141)

A introdução de exemplos históricos ajudará os estudantes a verem a atividade científica com um caráter mais filosófico, social e humano. (NRC, 1996, p. 170)

O uso da história da ciência mostrará que muitos indivíduos têm contribuído para as tradições da ciência [...], que a ciência tem sido praticada por diferentes pessoas em diferentes culturas... e revelará quão difícil foi para os inovadores da ciência quebrar as idéias aceitas em seu tempo, a fim de chegar às conclusões que hoje acreditamos ser corretas. (NRC, 1996, p. 171)

Recomendações para a utilização da história da ciência na educação científica continuam a ser feitas, incluindo aquelas de Eichman (1996), Sherratt (1982; 1983), Matthews (1994), Rutherford (2001) e mais recentemente de Hodson (2008). Entretanto, apesar destas recomendações, há pouca inclusão da história da ciência tanto nos livros-textos quanto no discurso em sala de aula. Infelizmente, a maioria dos estudantes vê somente a ciência em sua "forma final", um termo cunhado por Duschl (1990) para definir a situação comum na qual nós compartilhamos as conclusões científicas com aprendizes, mas raramente discutimos o desenvolvimento destas conclusões. Isto pode parecer eficiente, mas descaracteriza a atividade científica, resultando em livros-texto muito menos interessantes e removendo um material fértil que poderia ser usado para ajudar os estudantes a ver em contexto as regras do jogo da ciência (Allen e Baker, 2001).

Nos últimos seis anos, uma ampla variedade de abordagens para a inclusão da história da ciência têm sido propostas; muitas das quais serão discutidas em seções subseqüentes deste texto. Acompanhando estas abordagens há um número impressionante de justificativas para o uso de história da ciência, reunidas na Tabela 1, vindas principalmente a partir de Sherratt (1982; 1983), Matthews (1994), Monk e Osborne (1997), Rasmussen (2007), Rudge e Howe (2009) e Wider (2006).

Tabela 1. Razões descritas em uma grande variedade de fontes que apoiam a inclusão da história da ciência no ensino de ciências.

A inclusão da história da ciência na Educação Científica pode, em potencial:
1. Aumentar a motivação do estudante
2. Aumentar a admiração pelos cientistas
3. Auxiliar os estudantes a desenvolver melhores atitudes em relação à ciência
4. Humanizar os cientistas
5. Demonstrar que a ciência tem uma história
6. Contribuir para que os estudantes entendam e apreciem a relação entre ciência e sociedade
7. Mostrar uma imagem autêntica de como a ciência funciona de verdade
8. Revelar tanto a relação quanto a diferença entre a ciência e a tecnologia
9. Ajudar a relacionar as disciplinas científicas ao mostrar suas características em comum
10. Tornar o ensino mais desafiador, aprimorando o raciocínio
11. Oferecer oportunidades para o desenvolvimento de habilidades de pensamento mais desenvolvidas
12. Contribuir para um entendimento completo do conteúdo científico básico
13. Ajudar a revelar e dissipar equívocos clássicos da ciência (esta justificativa está relacionada com o que chamamos de recapitulação histórica, na qual alguns aprendizes são observados passando por uma fase de concepções inadequadas que são relacionadas ocasionalmente a ideias incorretas aceitas pelos cientistas no passado)
14. Proporcionar uma conexão interdisciplinar entre a ciência e outros tópicos escolares, com uma ênfase em particular na superação do <i>gap</i> entre as "duas culturas" (humanidades e ciências)
15. Aprimorar a formação de professores, melhorando suas próprias concepções científicas.

Estas razões vêm de uma variedade de fontes; algumas são frequentemente mencionadas por diversos autores, algumas poucas foram validadas por pesquisas, enquanto outras não têm este suporte e são essencialmente sugestões para utilizar história da ciência no ensino de ciências. Os leitores devem entender que as razões aqui discutidas não dizem respeito a todas as abordagens educacionais da história da ciência, mas, como um grupo, representam uma ampla base para a integração da história da ciência nos currículos de ciências por várias razões.

Por meio desta revisão dos vários métodos educacionais para a história da ciência, fica claro que há diferentes tipos de métodos tanto quanto razões para a incorporação da história da ciência no ensino. À medida que avançamos na recomendação do uso da história da ciência, é necessário agora oferecer algumas definições sobre o que exatamente é entendido como um currículo baseado em história da ciência, uma tarefa que consideraremos na próxima seção.

3. POR QUE PROPOR UM ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO PARA CURRÍCULOS E PLANOS EDUCACIONAIS BASEADOS EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA?

O plano ou tipologia de classificação proposta aqui vem com o intuito de explicitar dois elementos centrais sobre a história da ciência nas salas de aulas de ciências. Em primeiro lugar, existe um grande número de abordagens e exemplos sobre como a história da ciência pode ser utilizada na educação científica; o esquema proposto aqui deixa isso claro. Nesse sentido, esta classificação baseia-se no trabalho recente de Allchin (1997). Em segundo lugar, esta proposta deixa claro que, de fato, nem todas as abordagens educacionais da história da ciência são idênticas; não são igualmente aplicáveis na educação científica, exigem esforços diversos de professores e estudantes e não necessariamente produzem o mesmo impacto no aprendizado e na afetividade do aluno.

O autor está ciente de que alguns não concordarão com as distinções feitas entre os tipos. Talvez esta proposta provoque discussão ou até mesmo um debate. Uma classificação da NdC é um primeiro passo valioso e talvez até necessário para estabelecer um esquema para examinar e discutir os papéis, vantagens e desvantagens de cada um destes tipos de modo de ensinar. Um dos motivos mais fortes para sugerirmos esta classificação é deixar claro que diferentes abordagens provavelmente terão desafios e recompensas bem distintos, tanto para estudantes quanto para professores. A literatura sobre educação científica está repleta de sugestões de que deveríamos usar a história da ciência no ensino, como se todas as abordagens históricas fossem igualmente fáceis de implementar e igualmente benéficas. Claramente, esta não é uma conclusão válida. Em relação à pesquisa e ao desenvolvimento da história da ciência no ensino, devemos comparar e contrastar a efetividade das diversas abordagens e para isto precisamos saber o que são essas diversas abordagens.

Esta proposta de classificação é baseada em diversos fatores, começando pela revisão dos atuais modelos educacionais para a história da ciência que têm sido desenvolvidos e aplicados. Isto é preferível a discutir todos os modelos possíveis. Mesmo com essa reconhecida limitação, aparentemente quase todas as diversas maneiras de integrar a história da ciência na educação científica têm sido testadas mesmo que o nível de sucesso destas tentativas não tenha sido avaliado de forma adequada. Outro elemento que os fatores do esquema de classificação ofereceram aqui diz respeito aos impactos cognitivos e afetivos do método em questão. Alguns podem assumir que assistir a um filme é diferente de ler um texto original. Mesmo com isso em mente, não pode haver um julgamento *a priori* sobre os impactos definitivos que cada tipo de abordagem pode ter. Na realidade, parece razoável prever que o impacto pode estar relacionado mais aos aprendizes que ao tipo de história da ciência. Alguns estudantes podem reagir mais positivamente a algumas abordagens educacionais que outros, enquanto outros aprendizes podem ter um tipo de resposta significativamente distinta a um mesmo procedimento.

O esquema de classificação também foi baseado em parte pelo que podemos chamar de "distância" das fontes primárias. A questão que se põe é quanto material original do cientista o estudante encontra em comparação com a visão de outros sobre o feito de um cientista. Consideraremos quanto da fonte é encontrado pelos estudantes. Isto se tornará claro quando examinarmos, por exemplo, a distinção existente entre os estudantes que lêem obras originais de Darwin e aqueles que analisam um estudo de caso sobre a história da evolução

como um princípio científico.

Por fim, há a distinção incorporada à tipologia envolvendo abordagens do tipo “mão na massa” que enfatizam o uso prático da história da ciência. Em algumas abordagens históricas, os estudantes reencenam ou, de outra maneira, vivenciam pessoalmente um experimento ou uma série de experimentos conhecidos da história da ciência.

Os leitores devem estar atentos para não assumirem que esta classificação foi elaborada tendo como fundamento uma hierarquia que inclui efetividade ou rigor. Isto seria útil, mas na maioria dos casos simplesmente não temos evidências empíricas suficientes da efetividade no que diz respeito a qualquer aplicação em particular da história da ciência como uma técnica educacional. Por exemplo, não há nenhuma conclusão de que recriar um experimento histórico é "melhor" que ler o relato deste experimento nas palavras do cientista que o conduziu.

A tipologia não foi construída para representar relações "revolucionárias" ligando uma abordagem ou "tipo" de história da ciência com algum outro, tal como se pode encontrar em uma taxonomia biológica. Em vez disso, no desenvolvimento deste esquema, o ponto central é apenas uma diferença. Esta tipologia define e diferencia uma abordagem histórica de outra com o pressuposto de que estas abordagens distintas provavelmente têm influências diferentes nos estudantes. Em cada nível, são oferecidos exemplos para ilustrar tanto a abordagem em si quanto o material utilizado para tal. Não tentamos incluir cada conceito ou cada técnica presente na literatura, mas o objetivo é proporcionar detalhes suficientes para que os leitores avaliem por que uma idéia educacional para a história da ciência é diferente de outra e por que elas estão agrupadas da forma como estão. Da mesma forma, em cada nível apresentamos as pesquisas disponíveis sobre a eficácia de cada abordagem.

Um aspecto das abordagens históricas que não discutimos nesta proposta é aquele da integração e sinergia. Por exemplo, não há classificação para uma abordagem em que os estudantes reencenam um experimento clássico e lêem o relato do cientista. Pode-se inferir que tal abordagem seria diferente da utilização de qualquer método isolado do outro, que poderia ser combinado com o primeiro. De forma semelhante, não há maneira eficiente de caracterizar uma abordagem que use uma análise de vídeo atrelando elementos biográficos de cientistas como Galileu com um panorama da ciência por trás da mecânica. Pode haver alguma vantagem em oferecer um nível adicional para estas abordagens "mistas", mas isto ainda não foi feito. Evidentemente, o desafio básico no desenvolvimento de qualquer classificação é evitar tornar qualquer caso especial ou proporcionar categorias tão abrangentes que não permitam quaisquer distinções; este, é claro, é o clássico dilema do “misturar e dividir”. O esquema apresentado aqui é simplesmente uma maneira de revisar e organizar as várias abordagens históricas descritas na literatura e, como qualquer outro esquema, está aberto a críticas e modificações.

4. O IMPACTO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO APRENDIZADO DO ESTUDANTE

Na concepção desta proposta, um objetivo prévio foi associar estudos sobre o impacto de uma estratégia no aprendizado e/ou ligação emocional do estudante. Esta última tarefa acabou por se tornar impossível por uma série de razões. Em primeiro lugar, mesmo entre os poucos estudos empíricos de alta qualidade sobre o ensino baseado em história da ciência,

apenas poucos envolveram o uso de um tipo "puro". Em segundo lugar, poucos estudos forneceram detalhes suficientes sobre a natureza da intervenção, a fim de que fosse possível ter uma ideia do que exatamente foi feito em sala de aula. Por fim, não há estudos "cara-a-cara" de comparação entre um tipo de intervenção baseada em história da ciência e outro.

Consideremos, por exemplo, o estudo feito por Kim e Irving (2010), que explorou a efetividade de uma abordagem contextualizada da história da ciência no aprendizado dos estudantes sobre NdC e conteúdos de genética em uma sala de aula de biologia para o ensino médio. No estudo, o grupo experimental passou por aulas com viés histórico, enquanto o grupo de controle passou por aulas tradicionais. Os resultados mostraram que o grupo experimental desenvolveu um melhor entendimento de aspectos selecionados da NdC imediatamente depois da intervenção e mantiveram esse aprendizado posteriormente. Entretanto, ambos os grupos desenvolveram conhecimentos similares sobre genética. É impossível saber o que se entende por "aulas com viés histórico" e também impossível categorizar tais aulas em um tipo particular. É louvável que os pesquisadores tenham conduzido um estudo de grupo-controle, mas os dados são pouco claros e o método de ensino é relatado com poucos detalhes. A partir deste estudo, nós podemos ficar de alguma forma empolgados sobre o papel da história da ciência no ensino de ciências. Contudo, o que realmente precisamos é de um estudo mais sistemático sobre as várias maneiras pelas quais os estudantes podem aprender ciência por meio de sua história.

Após cada tipo proposto há uma seção que resume os resultados das pesquisas disponíveis que se relacionam a cada estratégia em especial. Na maioria dos casos, não há resultados empíricos disponíveis para recomendar ou condenar tal estratégia.

5. UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO PARA AS ABORDAGENS EDUCACIONAIS DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Para introduzir o escopo e a escala da classificação proposta, vamos considerar o esquema descrito na tabela 2. Cada tipo é discutido em mais detalhes nas seções subsequentes.

5.1 Tipo 1.0: Interações em primeira mão com trabalhos originais. (Ensinando e aprendendo com fontes primárias)

Este tipo representa essencialmente o que é chamado algumas vezes de abordagem da história da ciência com "Great Books" (Bloom, 1994), na qual os estudantes estudam conceitos vigentes a partir dos escritos dos cientistas e então participam de discussões sobre o que eles estudaram. Tais abordagens são mais limitadas aos trabalhos originais publicados em revistas científicas, mas em alguns casos podem também abranger a revisão de documentos de trabalho (tais como cadernos de anotações de laboratório, etc.). A classificação nesse nível é subdividida, dado que os estudantes podem ler trabalhos originais em sua totalidade, podem ler resumos destes trabalhos, podem encontrar um único trabalho ou ler um conjunto de trabalhos relacionados do mesmo cientista ou de cientistas associados à mesma descoberta ou fenômeno.

Tabela 2. Uma proposta de classificação para os tipos de abordagem da história da ciência aplicados na educação científica ao longo dos últimos 60 anos.

1.0	Interações com trabalhos originais (ou trechos selecionados) na história da ciência (fontes primárias)
1.1	Trabalhos originais completos (podem incluir comentários adicionais)
1.2	Trabalhos originais resumidos (podem incluir comentários adicionais)
2.0	Estudos de caso, narrativas ou outras discussões semelhantes da história da ciência (incluindo aquelas com materiais originais escritos)
2.1	Estudo de caso (com conteúdo original)
2.2	Narrativas científicas
2.3	Pequenas discussões, esboços e exemplos
3.0	Biografias e autobiografias dos cientistas e de suas descobertas
3.1	Autobiografia de um cientista
3.2	Biografia de um cientista (escrita)
3.3	Biografia de um cientista (apresentações dramáticas)
4.0	Apresentações de algum aspecto da história da ciência por meio de livros
4.1	Panorama geral da história da ciência
4.2	História de uma disciplina científica particular
4.3	História de uma sub-disciplina científica particular, tal como genética, evolução ou física quântica
4.4	História de uma simples descoberta de um evento (tal como um eclipse, o problema da longitude, o aparecimento do cometa Halley, etc.)
4.5	Discussão de experimentos clássicos
5.0	Atividades de dramatização e outras semelhantes relacionadas a personagens históricos
6.0	Trechos em livros-texto relacionados à história da ciência
7.0	Reproduções de experimentos e outras abordagens práticas para o estudo de alguns aspectos históricos da ciência

Estes escritos originais estão disponíveis em coleções comentadas, tais como nas "edições críticas" publicadas por alguns editores. O *Norton Critical Editions* é um bom exemplo dessas coleções. Na edição crítica sobre a descoberta da estrutura do DNA (Watson e Stent, 1980), foram disponibilizados trabalhos relacionados juntamente com o trabalho seminal original de Watson e Crick em 1953.

Muitos cientistas (Einstein e Darwin são bons exemplos) estão representados por extensas coletâneas, algumas vezes chamadas de "projetos de trabalho", que têm documentado a vida e época de pessoas por meio de suas obras, de forma que é possível saber praticamente o que um cientista famoso estava fazendo dia após dia. Este certamente é o caso de Darwin (<http://darwin-online.org.uk>), cujos trabalhos foram digitalizados e podem ser facilmente acessados *on line*.

Neste "tipo", os estudantes (provavelmente com o auxílio dos professores) ficam cientes do que leram sem se apoiar na interpretação de um especialista intercedente (tal como um historiador da ciência ou outro estudioso). Em nosso mundo cada vez mais conectado, agora é possível fazer *download* de trabalhos importantes e livros completos, tornando esta abordagem da história da ciência muito mais fácil em relação há poucos anos atrás. Mesmo assim, os professores devem se lembrar do impacto na questão afetiva que estes textos podem ter e se os estudantes poderiam ter a oportunidade de ver um trabalho original ou um livro atual a partir de um episódio importante da história da ciência. Uma visita ao uma seção de livros raros de uma biblioteca pode colocar os estudantes "mais perto" da história da ciência.

Fornecemos os níveis adicionais desta classificação para fazer a distinção entre os

trabalhos que são encontrados em suas formas originais daqueles que são tanto como resumos quanto com alguns comentários adicionais de especialistas. Exemplos dessa abordagem são contribuições como *What's the Matter? Readings in Physics* (Whitefield, 2007) e *Biology: It's People and its Papers* (Baumel e Berger, 1973).

Influência sobre os estudantes por meio de abordagens com fontes primárias

Pelo menos uma instituição americana de nível superior (St. Johns College, com unidades em Annapolis, MD e Santa Fe, NM) fundamenta seu currículo na abordagem de "Great Books"; a Biblioteca do Congresso dos Estados Unidos tem desenvolvido um conjunto exemplar de dados relacionados ao uso de fontes primárias no ensino (<http://www.loc.gov.br/teachers/tps/>). Mesmo com este suporte, pouco trabalho empírico tem sido feito para demonstrar o que os estudantes estão sujeitos a aprender por meio disso. A situação em relação à aprendizagem da ciência como um subdomínio da abordagem com "Great Books" é ainda mais desoladora que os resultados das pesquisas que a apoiam.

5.2 Tipo 2.0: Estudos de caso, narrativas e outras discussões semelhantes da história da ciência (podem incluir a interação com escritos originais ou experiências em laboratórios)

A abordagem de estudo de caso ou método de caso para o ensino tem sido aplicada em várias disciplinas; a ciência não é uma exceção. Por exemplo, há um centro sobre o uso de estudos de caso no ensino de ciências (library.buffalo.edu/libraries/projects/cases/case.html), com uma grande variedade deles, bem como com razões para utilizá-los (Herreid, 1994). O uso explícito da história da ciência também tem sido aplicado no formato de método de caso. Muito das primeiras inspirações e defesas do uso da história da ciência na educação científica veio com James B. Conant, cientista e presidente da Universidade de Harvard, que expressou "[...] minha argumentação é de que a ciência pode ser mais bem entendida pelos leigos por meio de estudos detalhados de poucos estudos de casos simples [...]" (Conant, 1947, p. 1).

A paixão de Conant pelo uso da história da ciência resultou em um dos mais valiosos exemplos de abordagens com estudos de caso, o *Harvard Case Studies in Experimental Science* (Conant e Nash, 1948). Os títulos dos casos estão descritos na tabela 3.

Posteriormente, o estudante de Conant e futuramente professor de Harvard, Leo Klopfer (1964), adaptou a abordagem de estudo de caso para utilizá-la no Ensino Médio por meio do *History of Science Cases* (HOSC). Cada uma de suas unidades incluía a exploração de uma ideia científica mais ampla, por meio da análise de excertos de documentos históricos e atividades experimentais realizadas pelos próprios estudantes ou como demonstração pelos professores (Lind, 1979). A tabela 4 contém uma lista dos nove assuntos propostos ou desenvolvidos para a HOSC, sendo que cada um deles foi elaborado na forma de guias individuais para alunos e professores. De forma geral, o HOSC teve como objetivo mostrar aos estudantes os métodos utilizados pelos cientistas, os meios pelos quais a ciência avança e as condições sob as quais ela se desenvolve, as personalidades e qualidades humanas da ciência, a interação entre fatores sociais, econômicos, tecnológicos e psicológicos com o progresso da ciência, a importância de dados acessíveis e precisos para a ciência, instrumentos constantemente aprimorados e a comunicação livre entre os cientistas (Klopfer, 1964).

Tabela 3. Os sete estudos de caso incluídos no *Harvard Cases in Experimental Science* (Conant e Nash, 1948).

Títulos	Páginas
Os experimentos de Robert Boyle sobre pneumática	64
A queda da teoria do flogisto: a revolução química de 1775-1789	52
O desenvolvimento inicial dos conceitos de temperatura e calor; A ascensão e queda da teoria do calórico	98
A teoria atômico-molecular	108
Plantas e a atmosfera	114
O estudo de Pasteur e Tyndall sobre a geração espontânea	54
O desenvolvimento do conceito de carga elétrica: eletricidade dos gregos a Coulomb	98

Tabela 4. Os casos desenvolvidos (ou propostos) para o *History of Science Cases* (HOSC) (Klopfer, 1964).

Aparentemente, alguns destes títulos planejados nunca foram publicados, mas esta informação tem sido difícil de verificar.

Títulos
As células da vida
A química do ar fixo
As linhas de Fraunhofer
Sapos e baterias
A descoberta de elementos halógenos
Pressão atmosférica
A sexualidade das plantas
A rejeição da teoria atômica
A velocidade da luz

Estratégias da categoria narrativas científicas (2.2) da classificação incluem "narrativas científicas", termo cunhado por Clough e Olson (2004) e posteriormente desenvolvido por Clough (2008). Estas narrativas são escritas com propósitos estritamente educacionais, quase nunca utilizando materiais originais. Roach (1995) e Roach e Wandersee (1993) são pioneiros nesta abordagem, utilizando pequenas narrativas para compartilhar aulas importantes sobre narrativas escritas com propósitos científicos. Em alguns casos, para fins dramáticos e educacionais, são escritos diálogos de cientistas. Geralmente, o objetivo é os estudantes aprenderem questões bem específicas sobre como a ciência funciona ou sobre conteúdos científicos, sendo as narrativas desenvolvidas com isto em mente. Exemplos atuais incluem aqueles em Clough (2008) e Klassen (2006).

Mesmo breves discussões sobre história da ciência (tipo 2.3) podem ser utilizadas para complementar algumas aulas já existentes. Um exemplo dessa abordagem seria o professor contar a história de como Kekulé imaginou uma série de cobras mordendo os rabos uma da outra, formando um círculo, fazendo-o concluir que alguns hidrocarbonetos formavam estruturas aneladas ao invés de uma cadeia linear, como era pensado. Esta narrativa é perfeitamente adequada para um professor de química trabalhar a idéia de que a criatividade

desempenha um papel importante na descoberta científica. Claramente, esta abordagem requer que os professores saibam tais exemplos, a partir dos quais eles podem utilizá-los no ensino. McComas (2008b) e Kampourakis e McComas (2009) ilustram mais detalhadamente esta técnica e oferecem tais exemplos.

Influência sobre os estudantes por meio da abordagem com estudos de caso/narrativas

Diversos estudos têm sido conduzidos para validar a abordagem com estudos de caso/narrativas, com alguns trabalhos iniciais feitos com estudos de caso de história da ciência. Um dos mais novos estudos é o de Clough (2011), que relata os resultados de um teste de eficácia do uso de "narrativas científicas" em um curso de geologia. "Ganhos significativos no entendimento do estudante sobre aspectos selecionados da natureza das idéias científicas (criatividade, o papel da interpretação dos dados, o papel da cultura na ciência, etc.)" são resultados da avaliação dos estudantes após a discussão de narrativas relacionadas à idade da Terra e à deriva dos continentes.

Viana e Porto (2010) descrevem a inclusão da história da ciência na educação científica por meio do uso de um estudo de caso focado no desenvolvimento da teoria atômica de Dalton. Para os autores, o trabalho de Dalton é um bom exemplo para indicar como o conhecimento científico foi construído no passado. Viana e Porto (2010) apontam que o estudo de caso revela "diferentes aspectos e dimensões da atividade científica: o processo intelectual da construção dos conceitos científicos, a natureza do conhecimento científico e até mesmo aspectos sociológicos da ciência" (p. 86). Além disso, os estudantes podem se beneficiar à medida que "ampliam sua compreensão sobre aspectos sociológicos da ciência" (p. 87), pelo fato do conhecimento científico ser construído em um contexto social e ser influenciado pelas pessoas. No caso do desenvolvimento da teoria atômica de Dalton, as conversas entre Dalton, Henry e Thomson permitiram que eles compartilhassem idéias, as quais mutuamente influenciaram seus trabalhos. Isto mostra o trabalho colaborativo entre os cientistas.

Para minimizar os receios daqueles que pensam que abordagens com estudos de caso histórico podem na verdade prejudicar o aprendizado do conteúdo científico tradicional, Irwin (2000) mostra que isso não é um problema. Seu grupo controle de estudo com indivíduos de 14 anos que aprenderam sobre teoria atômica, um utilizando uma abordagem história e outro uma abordagem tradicional, demonstrou que ambos os grupos tiveram um entendimento semelhante do conteúdo científico básico ao final da experiência.

5.3 Tipo 3.0: Biografias e autobiografias dos cientistas e de suas descobertas

Aqui nós encontramos a vida e a pesquisa dos cientistas relatada de forma direta. Os três tipos dentro dessa estratégia serão discutidos como um grupo, mesmo havendo diferenças na influência sobre os estudantes, relacionadas à maneira como a informação é passada e à "voz" do autor. Há inúmeros exemplos de abordagens da história da ciência com narrativas em primeira pessoa, tais como as de Charles Darwin (2002) *Autobiographies*, James Watson (1996) *The Double Helix* e Richard Feynman (2005) *The Meaning of it All*, e biografias, tais como *Galileo's Daughter* (Sobel, 1999), *Einstein* (Issacson, 2007), *Rosalind Franklin* (Maddox, 2002) e *Isaac Newton* (Gleick, 2003). Fingon e

Fingon (2009) discutem uma versão atualizada da estratégia tradicional de ter apresentações de estudantes sobre biografias de cientistas guiadas por critérios de avaliação das apresentações. Dagher e Ford advertem sobre o uso dessa estratégia, afirmando que algumas biografias escritas para um público infantil "são caracterizadas por uma significativa falta de descrição sobre como o cientista chegou à sua idéia..." (2005, p. 377).

Uma "apresentação dramática" feita no palco ou gravada pode ser um adendo à leitura sobre a vida e o trabalho de um cientista. Um excelente exemplo disso é a peça QED sobre a vida de Richard Feynman, escrita por Peter Parnell. Esta peça deu vida à ciência e sua história para os freqüentadores de teatro (e provavelmente para os estudantes também), estrelando o ator Alan Alda como o excêntrico, mas brilhante cientista. Em 1996, o filme *Infinity* dramatizou os primeiros anos da vida de Feynman como um jovem cientista trabalhando no desenvolvimento da bomba atômica durante o Projeto Manhattan. Os professores são alertados ao utilizarem estas dramatizações; inevitavelmente a "licença poética" pode resultar em uma produção que se afasta consideravelmente da verdade ou, pelo menos, distorce o tempo no qual as descobertas são feitas e os indivíduos interagem.

Há muitos produtos de mídia que têm sido produzidos exclusivamente para o mercado educacional que apresentam a vida e a obra dos cientistas. Muitos exemplares da série americana *Public Broadcasting System*, *PBS*, *NOVA* incluem reconstruções históricas. Exemplos recentes incluem *Einstein's Big Idea*, *Darwin's Dangerous Idea*, *Newton's Dark Secret* e *Galileo's Battle for the Heavens* (Public Broadcasting System). Neste gênero, outros exemplos notáveis incluem a série *MindWorks* (Becker, 2000), contendo oito módulos que expandem, complementam e enriquecem os materiais curriculares existentes em vários assuntos (Tabela 5); e o *Universo Mecânico*, produzido pelo Instituto de Tecnologia da Califórnia (2005), que explica vários conceitos físicos, acompanhados por reconstruções de personagens, eventos e experimentos com atores vestidos com figurinos da época. Mesmo não vendo os segmentos do *Universo Mecânico* em sua forma tradicional, é possível considerar estas reconstruções dramáticas como exemplos de discussões sobre história da ciência em sala de aula.

Concluindo, parece não haver uma estratégia particular descrita na literatura sobre a maneira pela qual a biografia e a autobiografia podem ser utilizadas no ensino de ciências. Entretanto, esta abordagem da história da ciência parece muito diferente das outras e, por isso, merece ser classificada como um tipo único.

Tabela 5. Os títulos dos vídeos produzidos por Becker (2000) como parte do projeto *MindWorks*.

Títulos
<i>Kinematics</i> (Galileo: Falling Objects)
<i>Dynamics</i> (DuChatelet and Voltaire: Collisions)
<i>Thermodynamics</i> (Count Rumford: Heat)
<i>Statics & Structures</i> (Ferris and the Ferris Wheel)
<i>Electricity & Magnetism</i> (Woods: Communication / Railway Telegraphy)
<i>Light & Color</i> (Newton and Wiggins: Refraction of Light and Color)
<i>Atoms & Matter</i> (Curie and Huggins: Radioactivity)
<i>Tomorrow's Challenges</i> (Shirley and the Mars Pathfinder Mission)

Influência sobre os estudantes por meio da abordagem com biografias

Assim como para várias outras estratégias para o uso da história da ciência em sala de aula, existem poucos dados empíricos disponíveis sobre este tipo de abordagem. Em um estudo, Lovedahl e Bricker (2006) solicitaram a alunos de quinto ano que lessem biografias de cientistas, na expectativa de que eles expandissem seus entendimentos sobre o que cientistas reais fazem. Eles notaram que os estudantes ficaram motivados pela tarefa, por poderem escolher os cientistas de acordo com suas afinidades. Os estudantes relataram que "seus" cientistas foram inspirados na infância (algo que os estudantes ligaram com suas próprias vidas), que fazer ciência não é sempre fácil, que as idéias científicas não foram muito bem aceitas e que levou muito tempo antes que o cientista fosse bem sucedido e não desistisse. Este último ponto era um dos objetivos educacionais do professor.

5.4 Tipo 4.0: Apresentações de algum aspecto da história da ciência por meio de livros

O impacto das estratégias dessa categoria está relacionado àquelas discutidas acima, mas separamos devido seu foco. Ao invés de discutir o trabalho de um único indivíduo, enfatizando sua "vida, época e obra" a partir de uma perspectiva biográfica, nesta categoria há uma discussão mais generalizada. As subcategorias foram organizadas partindo das mais gerais (por exemplo, uma narrativa da própria ciência, como pode ser encontrada na série de três livros *The Story of Science* (Hakim, 2005), passando por discussões da história de uma disciplina (por exemplo, a biologia, presente em *The Epic History of Biology* (Serafini, 2001), por uma subdisciplina (por exemplo, biologia molecular, presente em *The Eighth Day of Creation* (Judson, 1996) ou mesmo a história de um evento específico *Longitude* (Sobel, 1995), excelente exemplo desse gênero. Uma categoria um tanto menor, a abordagem de experimentos clássicos, também está incluída aqui. Há pouca pesquisa que mostra como os materiais dessa categoria da história da ciência são usados e quais influências tal uso teria sobre os estudantes, mas materiais originais têm sido aplicados de forma bem sucedida em um grande número de outras áreas de ensino (por exemplo, Bowler e Morus, 2005).

Assim como muitos outros tipos de abordagens da história da ciência para o ensino de ciências, poucas pesquisas empíricas foram feitas para validar o uso dessa estratégia, embora relatos sejam abundantes.

5.5 Tipo 5.0: Atividades de dramatização e outras atividades relacionadas sobre personagens históricos

Reconhecidamente, este nível da classificação é o mais tentador. Uma vez que há poucas discussões na literatura sobre o uso direto ou indireto de atividades de dramatização na educação científica e já que tais técnicas parecem únicas em relação às outras discutidas aqui, esta categoria foi estabelecida. Técnicas educacionais desta categoria incluiriam aquelas nas quais estudantes interpretam personagens históricos da ciência para agir, debater ou responder como se fossem essas pessoas. Isto pode ou não ter os alunos vestidos como os personagens que eles interpretam. Pode-se imaginar estudantes escrevendo uma peça ou

reencenando os caminhos de Galileo para entender e discutir mais detalhadamente os pontos centrais daquele debate. Isto poderia ser caracterizado como uma aplicação direta do uso da dramatização na história da ciência.

De forma alternativa, o professor ou mesmo um ator pode se vestir como um cientista famoso e incorporar a personalidade dessa pessoa para lecionar ou responder a questões *como* ela. Mendel, Darwin, Newton, Einstein e outros distintos cientistas têm sido o foco desta técnica. Lamentavelmente, nada significativo tem sido encontrado na literatura sobre o impacto da aplicação dessa estratégia ou qualquer outra discussão mais detalhada sobre como isso pode ser utilizado de uma forma geral. Entretanto, a técnica ainda promete. A pesquisa deve focar mais atentamente no impacto dessas abordagens. Aparentemente, ter estudantes engajados em atividades de dramatização (como participantes ativos) traz um impacto diferente que assisti-la (como participantes passivos).

Influência sobre os estudantes por meio da abordagem de dramatização

Ao contrário das muitas outras estratégias discutidas aqui, o drama histórico e o *role playing* têm sido amplamente utilizados e analisados (van den Berg, 2009, Metcalfe *et al.*, 1984 e Christofi e Davies, 1991) e uma variedade de tipos tem sido produzida. Por exemplo, Stinner e Teichman (2003) produziram um módulo baseado em "Lord Kelvin e o debate sobre a idade da Terra", Solomon (1989) contribuiu com "Julgamento de Galileo", e Raman (1980) desenvolveu "Aristóteles vs. Copérnico", além de muitos outros. Christofi e Davies (1991) e Solomon, Duveen, Scott e McCarthy (1992) mostraram que a dramatização melhora o entendimento dos estudantes sobre conceitos e idéias científicas (como evidenciado pelos testes feitos com os estudantes) e sobre a natureza do conhecimento científico. Duveen e Solomon (1994) desenvolveram uma dramatização baseada no "Grande Caminho da Evolução", a fim de promover uma empatia histórica entre os estudantes.

Dramas científicos não históricos parecem ser uma abordagem mais comum que os históricos e são recomendados para ensinar assuntos sócio-científicos. Harwood *et al.*, (2002) utilizou um drama baseado nas audiências do Senado para debater a mudança no clima mundial em seu curso universitário integrado de ciência para professores em formação. Os alunos interpretaram pessoas ligadas a grupos com fins específicos, incluindo Sierra Club, Green Energy Society, Green Peace, agências de proteção ambiental, membros do gabinete do governador da Califórnia e senadores. Harwood e colaboradores descobriram que a dramatização aumentou a percepção dos alunos sobre o aquecimento global. Os estudantes afirmaram que a dramatização era um método de ensino útil e que usariam em aulas de ciência. A partir de uma perspectiva de entendimento conceitual, a maioria dos estudantes pôde listar várias conseqüências do aquecimento global. Entretanto, os estudantes não conseguiram explicar a causa o processo do aquecimento global a partir do ponto de vista científico.

5.6 Tipo 6.0: Trechos em livros-texto relacionados à história da ciência

Esta categoria aparece mais para refletirmos sobre uma realidade do que sobre um uso ideal da história da ciência no ensino de ciências. Atualmente, pouco conteúdo sobre história da ciência/NdC está presente nos livros-texto ou nas discussões em sala de aula.

Frequentemente, poucas grandes descobertas científicas juntamente com aqueles que as fizeram são discutidas a partir de uma perspectiva histórica. Galileo, Newton, Einstein, Darwin e Watson/Crick são frequentemente citados mesmo que as especificidades dos seus trabalhos (geralmente as partes mais interessantes e ilustrativas) sejam omitidas. Uma variedade de estudos trata dessa questão. Entretanto, Leite (2002) fez um trabalho particularmente bom em descrever como analisar o conteúdo histórico nos livros-texto – de física, no seu caso – e constatou que nos livros estudados o conteúdo histórico não deu aos estudantes uma imagem adequada dos cientistas e de seus trabalhos.

Quando os cientistas são mencionados, suas contribuições estão limitadas a poucas frases, talvez uma figura, e às datas de nascimento e morte – usualmente nas laterais do livro-texto. Essa posição, aliás, quase garante que os estudantes e professores ignorarão o potencial oferecido por tal conteúdo. Mesmo que este uso da história da ciência não seja particularmente robusto ou convincente, deve ser reconhecido como uma maneira dentre várias outras de incorporar a história da ciência. Uma exceção ao estado atual da inclusão da história da ciência em livros-texto foi o Project Physics curriculum, desenvolvido na década de 60 e atualizado como *Physics, the Human Adventure* (Holton e Brush, 2001). Este projeto, que teve como co-autor o historiador da ciência Gerald Holton, propositalmente incluiu um rico tratamento histórico ao longo da discussão sobre física (Holton, 1969; 2003). Enquanto há estudos sobre qual conteúdo histórico é citado nos textos científicos, não há uma análise mais profunda sobre o uso que os professores fazem desse conteúdo ou quais impressões os estudantes têm dessa dimensão dos professores de ciência. Uma conclusão provavelmente óbvia a que podemos chegar é que a inclusão da história da ciência nos livros-texto exerce pouquíssimo impacto sobre os estudantes ou professores, a não ser que esteja explicitamente colocada no currículo. Isto tem mais chances de acontecer nas salas de aula de professores que têm um forte interesse nesse assunto.

Influência sobre os estudantes por meio da abordagem com trechos históricos em livros-texto

Alguns estudos (Irwin, 1996 e Summers, Decker e Barrow, 2007, por exemplo) têm analisado como a história da ciência e/ou a natureza da ciência são representadas nos livros-texto. Wang, 1999, por exemplo, mostra que os tópicos de história da ciência estão espalhados ao longo de vários textos científicos, mas a inclusão fica restrita às datas de nascimento e morte dos cientistas, acompanhadas de breves detalhes biográficos. Infelizmente, parece não haver dados sobre o impacto da inclusão de história da ciência nos livros-texto sobre o aprendizado ou as atitudes dos estudantes.

5.7 Tipo 7.0: Reproduções de experimentos e outras abordagens práticas para o engajamento com alguns aspectos históricos da ciência

O último nível desta nossa proposta de classificação refere-se ao uso de experimentos clássicos ou históricos no ensino de ciências. Investigações como as dos efeitos eletrostáticos causados pela fricção de tecidos em bastões vidro não são relacionadas a pessoas ou eventos específicos da história do descobrimento da eletricidade estática. Os tipos de estudo que consideraremos aqui nesta classificação são aqueles que estão explicitamente ligados à

história da ciência. Este aspecto do ensino de história da ciência é confundido pelo fato de que raramente estas abordagens "mão na massa" são feitas à parte de outras técnicas. Vamos considerar o *History of Science Cases*, discutido acima; eles também têm estudantes engajados na condução de experimentos, mas misturam isso com a leitura sobre o cientista e o trabalho a ser realizado. Entretanto, dada a natureza especial das abordagens "mão na massa" e o impacto único que elas causam, parece razoável as incluímos em um tipo próprio na tipologia.

Fontes sobre o uso dessa abordagem são relativamente limitadas. Vários livros incluem discussões sobre experimentos que poderiam ser utilizados como recurso tanto para ler sobre ou até mesmo conduzir (re-conduzir) alguns destes experimentos clássicos. *The Ten Most Beautiful Experiments in Science* (Johnson, 2009), *Great Experiments in Physics* (Shamos, 1987) e *Great Scientific Experiments* (Harre, 1981) estão entre os mais úteis. Um amplo compêndio de experimentos clássicos envolvendo todas as ciências que podem ser realizados em sala de aula foi publicado em *Historical Science Experiments on File* (Walker, 1993).

Alguns educadores têm usado versões diferentes de reproduções de experimentos. Kipnis (1996) desenvolveu o que ele chamou de *abordagem histórica investigativa* e a aplicou no estudo de óptica e eletricidade. Peter Heering, então na Universidade de Oldenburg (2000; 2003), tem se tornado um especialista na construção de réplicas exatas de vários aparatos importantes na história da física para o uso no ambiente educacional. Mais recentemente, Cavicchi (2008) concluiu que tal abordagem é "valiosa por recuperar um pouco da inter-relação inerente na história e por reintroduzir o fascínio pelos fenômenos científicos aos estudantes de hoje" (p. 717), mas complementemente que "a história da ciência com seu legado experimental ainda deve ser entendida como uma fonte educacional para contrabalancear a fragmentação do conhecimento científico" (p. 719).

Influência sobre os estudantes por meio da abordagem de reprodução de experimentos

Alguns acadêmicos têm investigado o efeito da reprodução de experimentos históricos na aprendizagem dos estudantes (Allchin, *et al.*, 1999; Cavicchi, 2008 e Seroglou, *et al.*, 1998, por exemplo). Discutindo um exemplo específico, vamos considerar o trabalho de Dedes e Ravanis (2009a; 2009b), que utilizaram o experimento de Kepler sobre o modelo de óptica geométrica para ensinar a formação de imagem por fontes luminosas largas para estudantes gregos de 12 a 16 anos. Eles começaram a aula explorando os conhecimentos prévios dos alunos e então mostraram situações experimentais inspiradas pela história da ciência. Isto levou a um conflito conceitual. Em seguida os estudantes testaram suas idéias repetindo o experimento de Kepler. Duas semanas depois os estudantes foram sujeitos a uma tarefa cognitivamente similar, mas com conteúdo experimental diferente. Eles concluíram que a maioria dos alunos pôde fazer uma previsão correta e justificar os resultados experimentais baseando-se em princípios científicos.

6. CONSIDERANDO A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Mesmo concordando sobre a estrutura geral da classificação proposta, há pelo menos três grandes elementos adicionais do ensino de história da ciência que vale a pena considerar. Estes

incluem o domínio curricular, pedagógico e afetivo. De uma perspectiva curricular, parece que a história da ciência só pode ser efetivamente incluída no ensino se estiver integrada ao invés de coadjuvante no ensino, se estiver de alguma forma relacionada aos parâmetros ou outros objetivos curriculares, e se o foco da aprendizagem derivada da história da ciência estiver nos exames de avaliação de ciências, de modo que os estudantes a levem a sério.

O elemento pedagógico é um tanto direto, aprendizagens derivadas da história da ciência devem ser discutidas explicitamente (ao invés de implicitamente) (Adb-El-Khalick & Lederman, 2000a; 2000b; Rudge e Howe, 2009). Assim como a própria natureza da ciência, se as idéias que o professor espera compartilhar por meio da história da ciência estiverem implícitas, é muito provável que elas sejam ignoradas. Por último, temos que considerar a questão afetiva. Se o conteúdo de história da ciência e a forma como ela é ensinada não é motivadora, interessante e adequada, ela provavelmente não responderão positivamente para os estudantes e, por sua vez, aos professores. Se somente os professores valorizam a incorporação da história da ciência na educação científica, há uma grande possibilidade de que a inovação não dure, uma vez que os próprios estudantes a rejeitarão. Com a pressão do tempo e do cumprimento das demandas atuais dos currículos de ciência, as estratégias que favorecem o desenvolvimento do currículo são as que funcionam.

7. DESAFIOS ENCONTRADOS AO INCORPORAR HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Existe uma longa herança tanto pela defesa (McComas, 1997) quando pela inovação na inclusão da história da ciência na educação científica; e até mesmo algumas críticas pontuais (Allchin, 2003 e Kindi, 2005). Mesmo enaltecendo a importância das sugestões práticas e acadêmicas para a inclusão da história da ciência no ensino de ciências, deve-se salientar que esta abordagem para o ensino de ciências permanece, por uma série de razões, pouco usual e geralmente não estudada.

Em primeiro lugar, os cursos de formação de professores devem ser atualizados, no sentido de incluir o uso efetivo da história da ciência como meio para promover o *conhecimento de conteúdo pedagógico* (PCK – pedagogical content knowledge). Talvez com a orientação advinda de uma revisão da tipologia, podemos ter um novo foco para que os modelos curriculares apresentem uma efetiva e motivadora inclusão da história da ciência nas aulas de ciências. Por fim, devemos direcionar algumas de nossas pesquisas para a análise do papel e da natureza da história da ciência para o ensino de ciências. Pouco tem sido feito no intuito de determinar o nível no qual a história da ciência deve ser incluída como um imperativo educacional ou de medir a eficácia das várias técnicas para o seu uso no ensino de ciências. Não sabemos quais elementos da história da ciência são eficazes para cada objetivo educacional. Nós devemos considerar os papéis desempenhados pela recapitulação (reprodução) vs. reconstrução (escrever história para objetivos educacionais). Devemos nos preocupar que a exposição à "velha" ciência pode ser problemática, na medida em que discutimos a "ciência atual" (Lind, 1979).

Concluindo esta revisão de metodologias para utilizar história da ciência, parece claro que a inclusão da história científica no ensino de ciências deveria ser prioridade. Nós devemos

humanizar a ciência, revelando aos estudantes as diversas e interessantes pessoas que contribuíram para a ciência no passado e continuam a contribuir. Nós devemos considerar novamente a variedade de sugestões de educadores e acadêmicos sobre a incorporação de história da ciência e considerar quais delas fazem sentido em nosso novo mundo de padrões e testes de referência. O desafio pode ser integrar história da ciência de forma sutil, mas apropriada, de maneira que não demande muito do tempo em sala de aula ou do conhecimento do professor. Entretanto, não há dúvida de que o currículo de ciência seria enriquecido e avivado se pudéssemos mostrar aos estudantes de onde a ciência vem a partir de quem contribuiu para o seu desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer aos Drs. Carole Lee, Pongprapan Pongsophon e Kostas Kampourakis por suas úteis correções e sugestões ao manuscrito. Obviamente, todas as opiniões e erros são de responsabilidade do autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad & LEDERMAN, Norman. The influence of history of science courses on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **37**: 1057–1095, 2000 (a).
- ABD-EL-KHALICK, Fouad & LEDERMAN, Norman G. Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education* **22**: 665-701, 2000 (b).
- ALLCHIN, Douglas. Scientific myth conceptions. *Science & Education* **87** (3): 329-351, 2003.
- ALLCHIN, Douglas. The power of history as a tool for teaching science. Pp. 70-98, in: Dally A.; Nielsen T. & Reiss F. (eds.). *History and Philosophy of Science: A Means to Better Scientific Literacy?* Loccum: Evangelische Akademie Loccum, 1997.
- ALLCHIN, Douglas; Anthony, Elizabeth; Bristol, Jack; Dean, Alan; Hall, David & Lieb, Carl. History of science - with labs. *Science & Education* **8**: 619-632, 1999.
- ALLEN, Garland & BAKER, Jeffrey. *Biology: scientific process and social issues*. Maryland: Fitzgerald Science Press, 2001.
- BAUMEL, H. B. & BERGER, J. J. *Biology: It's people and its papers*. Washington, DC: National Science Teachers Association, 1973.
- BECKER, B. *Mindworks*. San Francisco, CA: West, 2000.
- BLOOM, Harold. *The Western Canon: The Books and School of the Ages*. New York: Harcourt Brace & Company, 1994.
- BOWLER, Peter J. & MORUS, Iwan Rhys. *Making modern science: a historical survey*. Chicago: The University of Chicago Press, 2005.
- CAREY, L. R. & STAUSS, A. N. An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers. *Science Education* **52** (4): 358-363, 1970.
- California Institute of Technology. *The mechanical universe and beyond*, 1985. Available: <http://www.learner.org/resources>. Access: April 30, 2009.

- CAVICCHI, Elizabeth M. Historical experiments in students' hands: Unfragmenting science through action and history. *Science & Education* **17** (7): 717-749, 2008.
- CHRISTOFI, C. & DAVIES, M. Science through Drama. *Education in Science* (141): 28-29, 1991.
- CLOUGH, Michael. The story behind the science: bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science & Education* **20** (7-8): 701-717, 2011.
- CLOUGH, Michael. *A Very deep question: Just How Old is the Earth? Part of a new series of "science stories."* Unpublished Document Ames, IA: Iowa State University, 2008.
- CLOUGH, Michael P. & OLSON, Joanne K. The nature of science: always part of the science story. *The Science Teacher* **71**: 28-31, 2004.
- CONANT, James B. *On understanding science*. New Haven, CT: Yale University Press, 1947.
- CONANT, James B. & Nash, L. K. *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1948. 1;2 vols.
- DAGHER, Zoubeida & FORD, Danielle. How are scientists portrayed in children's science biographies. *Science & Education* **14** (3): 377-393, 2005.
- DARWIN, Charles. *Autobiographies*. NY: Penguin Group, 2002.
- DEDES, Christos & RAVANIS, Konstantinos. History of science and conceptual change: The formation of shadows by extended light sources. *Science & Education* **18**: 1135-1151, 2009 (a).
- DEDES, Christos & RAVANIS, Konstantinos. Teaching image formation by extended light sources. *Research in Science Education* **39**: 57-73, 2009 (b).
- DUSCHL, Richard A. *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press, 1990.
- DUVEEN, Jonathan & SOLOMON, Joan. The Great evolution trial: Use of role-play in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching* **31** (5): 575-582, 1994.
- Education Policies Commission Report. *Education for All American Youth*. USA: National Education Association of the United States, 1944.
- EICHMAN, P. Using history to teach biology. *The American Biology Teacher* **58**: 200-202, 1996.
- FEYNMAN, Richard P. *The meaning of it all: Thoughts of a citizen scientist*. NY: Basic Books, 2005.
- FINGON, J. C. & FINGON, S. D. What about Albert Einstein? Using biographies to promote students' scientific thinking. *Science Scope* **32**: 51-55, 2009.
- GLEICK, James. *Isaac Newton*. New York: Pantheon Books, 2003.
- HAKIM, Joy. *The story of science: Newton at the center*. Arlington, VA: NSTA Press, 2005.
- HARRE, R. *Great scientific experiments. Twenty experiments that changed our view of the world*. Chelmsford, MA: Courier Dover Publications, 1981.
- HARWOOD, W. S.; MAKINSTER, J.G.; CRUZ, L. & GABEL, D. Acting out science: Using senate hearings to debate global climate change. *Journal of college science teaching* **31**: 442-447, 2002.
- HERREID, C. F. Case Studies in Science-A Novel Method of Science Education. *Journal of College Science Teaching* **23**: 221-229, 1994.
- HEERING, Peter. History-science-epistemology: On the use of historical experiments in physics teacher training. In: VI INTERNATIONAL HISTORY, PHILOSOPHY AND SCIENCE TEACHING GROUP MEETING, 2003, Denver. **Proceeding...** Denver: IHPST, 2003, File 58 on CD ROM.

- HEERING, Peter. Getting shocks: Teaching secondary school physics through history. *Science & Education* **9** (4): 363-373, 2000.
- HODSON, Derek. *Towards scientific literacy: A teacher's guide to the history, philosophy and sociology of science*. Rotterdam: Sense Publishers, 2008.
- HOLTON, Gerald. Harvard project physics: A report on its aims and current status. *Physics Education* **4**: 19-25, 1969.
- HOLTON, Gerald. The Project Physics Course, then and now. *Science & Education* **12**: 779-785, 2003.
- HOLTON, Gerald. & Brush, S. G. *Physics, the human adventure: From Copernicus to Einstein and beyond*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 2001.
- IRWIN, A. R. A survey of the historical aspects of science in school textbooks. *School science review* **78**: 101-107, 1996.
- IRWIN, A. R. Historical case studies: teaching the nature of science in context. *Science Education* **84**: 5-26, 2000.
- ISAACSON, Walter. *Einstein: His life and universe*. New York: Simon and Schuster, 2007.
- JOHNSON, George. *The ten most beautiful experiments*. New York: Knopf, 2009.
- JUDSON, H.F. *The eight day of creation*. Cold Springs Harbor, NY: Cold Springs Harbor Laboratory Press, 1996.
- KAMPOURAKIS, Kostas & MCCOMAS, William F. Using the history of biology to illustrate core nature of science ideas. In: V GREEK CONFERENCE ON HISTORY, PHILOSOPHY & TEACHING OF NATURAL SCIENCES: THE GREAT SCIENTIFIC THEORIES IN THE TEACHING OF NATURAL SCIENCES, 2009 (b), Nicosia, Cyprus. **Proceedings...** Nicosia, Cyprus, 2009.
- KIM, Sun Young & KRIVING, Karen E. History of science as an instructional context: Student learning in genetics and nature of science. *Science & Education* **19** (2); 187-215, 2010.
- KINDI, V. Should science teaching involve the history of science? An assessment of Kuhn's view. *Science & Education* **14**: 721-731, 2005.
- KIPNIS, N. The "historical-investigative" approach to teaching science. *Science & Education* **5**: 277-292, 1996.
- KLASSEN, Stephen. The Application of Historical Narrative in Science Learning: The Atlantic Cable Story. *Science & Education* **16**: 335-352, 2006.
- KLOPFER, L. E. *History of Science Cases (HOSC)*. Chicago, IL: Science Research Associates, 1964.
- LEDERMAN, Norman G. The state of science education: Subject matter without context. *Electronic Journal of Science Education* **3** (2): On-Line, 2002. Access: <http://unr.edu/homepage/icannon/ejse/ejse.html>. Available: December, 2002.
- LEITE, L. History of science in science education: Development and validation of a checklist for analyzing the historical content of science textbooks. *Science & Education* **11**: 353-359, 2002.
- LIND, G. The history of science cases (HOSC): Nine units of instruction in the history of science. *European Journal of Science Education* **1** (3): 293-299, 1979.
- LOVEDAHL, Angela N. & BRICKER, Patricia. Using biographies in science class. *Science and Children* **44** (3): 38-43, 2006.
- MADDOX, Brenda. *Rosalind Franklin: The dark lady of DNA*. New York: HarperCollins, 2002.

- MATTHEWS, Michael. History, philosophy and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education* **1**: 11-47, 1992.
- MATTHEWS, Michael. R. *Science Teaching, the Role of History and Philosophy of Science*. NY: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, William F.; CLOUGH, Michael P. & ALMAZROA, H. A review of the role and character of the nature of science in science education. Pp. 3-39, *in*: McComas, W. F. (ed.). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Kluwer Springer Academic Publishers, 1998.
- MCCOMAS, William F. Proposals for Core Nature of Science Content in Popular Books on the History and Philosophy of Science: Lessons for Science Education. Pp.259-270 , *in*: LEE, Y. J. & TAN, A. L. (eds.). *Science education at the nexus of theory and practice*. Rotterdam: Sense Publishers, 2008 (a).
- MCCOMAS, William F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education* **17**(2/3): 249-263, 2008 (b).
- MCCOMAS, William F. The discovery and nature of evolution by natural selection: Misconceptions and lessons learned from the history of science. *American Biology Teacher* **59**: 492-500, 1997.
- METCALFE, Robert J. Alban; ABBOTT, Suzanne; BRAY, Paul; EXLEY, Joan & WISNIA, David. Teaching Science through Drama: An Empirical Investigation. *Research in Science and Technological Education* **2**: 77-81, 1984.
- MONK, Martin & OSBORNE, Jonathan. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education* **81** (4): 405-424, 1997.
- National Research Council. *The national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press, 1996.
- OSBORNE, Jonathan; COLLINS, S.; RATCLIFFE, M.; MILLAR, R. & DUSCHL, R. What "ideas-about-science" should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching* **40**: 692-720, 2003.
- Public Broadcasting System (PBS). Science programming on air and online. <http://pbs.org/wgbh.nova/>.
- RAMAN, V. V. Teaching Aristotelian Physics through a Dialogue. *Physics Teacher* **18** (8): 580-583, 1980.
- RASMUSSEN, Seth C. The history of science as a tool to identify and confront pseudoscience. *Journal of Chemical Education* **84**: 949-951, 2007.
- ROACH, Linda E. Putting people back in science: Using historical vignettes. *School Science and Mathematics* **95**: 365-370, 1995.
- ROACH, Linda E. & WANDERSEE, J. H. Short story science. *The Science Teacher* **60**: 18-21, 1993.
- RUDGE, David W. & HOWE, Eric M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education* **18**: 561-580, 2009.
- RUTHERFORD, J. Fostering the history of science in American science education. *Science & Education* **10**: 569-580, 2001.

- SERAFINI, A. *The epic history of biology*. Boulder, CO: Perseus Publishing Company, 2001.
- SEROGLOU, Fanny; KOUMARAS, Panagiotis & TSELFES, Vassilis. History of science and instructional design: the case of electromagnetism. *Science & Education* **7**: 261-280, 1998.
- SHAMOS, Morris. *Great experiments in physics*. New York: Dover Publications, 1987.
- SHERRATT, W. J. History of science in the science curriculum: An historical perspective Part I: Early interest and role advocated. *School Science Review* **64**: 225-236, 1982.
- SHERRATT, W. J. History of science in the science curriculum: An historical perspective. Part II: Interest shown by teachers. *School Science Review* **64**: 418-424, 1983.
- SOBEL, Dava. *Longitude: The true story of along genius who solved the greatest problem of his time*. New York: Walker and Co., 1995.
- SOBEL, Dava. *Galileo's daughter: A historical memoir of science, faith, and love*. New York: Walker and Co., 1999.
- SOLOMON, Joan. The Retrial of Galileo. Pp. 332-38, in: HERGIT, D. E. (ed.). *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Tallahassee, Florida: Univ. of Florida Science Education Department, 1989.
- SOLOMON, Joan; DUVEEN, Jonathan; SCOTT, Linda & MCCARTHY, Susan. Teaching about the Nature of Science through History: Action Research in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching* **29** (4): 409-421, 1992.
- STEELMAN, J. R. *Manpower for Research: Volume 4 of Science and Public Policy*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1947.
- STINNER, Art & TECHIMAN, Jürgen. Lord Kelvin and the Age-of-the-Earth Debate: A Dramatization. *Science and Education* **12** (2): 213-228, 2003.
- SUMMERS, Gerald; DECKER, Todd & BARROW, Loyd. The treatment of geological time and the history of life on Earth in high school biology textbooks. *American biology teacher* **69**: 401-405, 2007.
- VAN DEN BERG, E. Theater in Physics Teacher Education. *Physics Teacher* **47** (6): 350-352, 2009.
- VIANA, Hélio E. B. & PORTO, Paulo A. The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: Reflections for educators in chemistry. *Science and Education* **19**: 75-90, 2010.
- WALKER, R. *Historical science experiments on file*. New York: Facts on File, Inc., 1993.
- WANG, HsingChi A. *A content analysis of the history of science in the national science education standards and four secondary science textbooks*. Washington D. C.: Distributed by ERIC Clearinghouse, 1999.
- WATSON, James D. *The Double Helix: A personal account of the discovery of the structure of DNA*. NY: Simon and Schuster, 1996.
- WATSON, James D. & CRICK, F. H. C. Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* **171**: 737-738, 1953.
- WATSON, James D. & STENT, G. S. (eds.). *Double helix: A personal account of the discovery of the structure of DNA*. New York: W.W. Norton and Company, 1980.

WIDER, W. Science as Story Communicating the Nature of Science through historical perspectives on science. *American Biology Teacher* **68**: 200-205, 2006.

WHITFIELD, D. H. *What's the matter? Readings in physics*. Chicago, IL: Great Books Foundation, 2007.

V. MATERIAIS INSTRUCIONAIS

PRESENCIA DE LA VISIÓN A HISTÓRICA Y APROBLEMÁTICA DE LA CIENCIA EN LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO ELEMENTO QUÍMICO

Dulce María López Valentín*

Resumo: *El objetivo de esta investigación consiste en ver si la enseñanza de la química a nivel bachillerato presenta deficiencias conceptuales y epistemológicas referentes a la enseñanza del concepto de elemento químico (CEQ). Se supone, a título de hipótesis, que estas deficiencias estarán basadas en visiones deformadas de la ciencia (en particular, las visiones ahistórica y aproblemática) que tienen los profesores y que también presentan los libros de texto.*

Palavras-chave: *elemento químico; enseñanza de la química; visiones deformadas de la ciencia.*

Presence of ahistorical and aproblematic view of Science in the teaching of the chemical element concept

Abstract: *The objective of this work is to demonstrate if the teaching of Chemistry at high school level shows conceptual and epistemological weaknesses concerning of the teaching of the chemical element concept. Presumably, these deficiencies will be based on distorted views of Science (particularly, ahistorical and aproblematic views) which teachers and textbooks have.*

Key-words: *chemical element concept; Chemistry teaching; distorted views of Science.*

1. MARCO TEÓRICO

A partir de la década de los 80's se han reportado en la literatura algunas de las dificultades que presentan los estudiantes respecto a la comprensión del concepto de elemento químico (CEQ) (Caamaño et al., 1983; Holding, 1985; Llorens, 1991; Pozo et al., 1991; Solsona e Izquierdo, 1998; Laugier y Dumon, 2003 y López-Valentín, 2008).

El CEQ es considerado como un prerrequisito para el estudio de la Química, imprescindible para poder entender la idea daltoniana del cambio químico, y en consecuencia, para comprender otros conceptos subsecuentes y mucho más complejos, como pueden ser: las reacciones químicas, la cantidad de sustancia y todos los problemas estequiométricos que se deriven. El CEQ es fundamental para comprender la Química e interpretar correctamente sus transformaciones, a pesar de su importancia, se ha observado explícitamente que el alumnado identifica (igual) los conceptos de sustancia pura y elemento. Esta idea errónea se

* Facultad de Trabajo Social y Desarrollo Humano, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

convierte en un problema didáctico primordial debido a que la mayoría de los estudiantes piensa que todos los materiales son mezclas, de forma que identifican material con sustancia y clasifican como sustancia todo aquello que es observable de alguna manera (en particular todo lo que se puede ver o tocar). En cambio, se habla de sustancia pura cuando se considera que es aquello que no tiene ningún tipo de mezcla y la identifican con partículas formadas por una sola clase de átomos, es decir, con la idea de elemento químico a nivel microscópico (Domínguez, 2004; Domínguez y Furió, 2001; Furió y Domínguez, 2007).

Por otro lado, la carencia generalizada del aprendizaje significativo de cualquier concepto científico, como se ha visto en la investigación, ha de relacionarse con un análisis crítico de cómo se realiza su enseñanza. Se cree que una de tantas razones de esta falta de aprendizaje significativo en los estudiantes, pudiese deberse al desconocimiento de los profesores de la Historia de la Ciencia (evolución de los modelos históricos hasta los actuales), así como a la existencia de visiones epistemológicas deformadas sobre la Naturaleza de la Ciencia y la actividad científica (Furió 1994; McComas, Clough & Almazroa 1998; Fernández et al., 2002). La transmisión de estas visiones deformadas, específicamente en la enseñanza de la Química, se manifiesta muchas veces de manera implícita en la organización y secuenciación de los contenidos de los libros de texto y en el profesorado, y se supone que también se transmitirá en la enseñanza del CEQ. En general, se considera que se transmite una visión aproblemática o ahistórica de la Ciencia cuando se transfieren conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, etc., ni mucho menos, las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas. Se pierde de vista que, como afirma Bachelard (1993, p.16), “todo conocimiento es una respuesta a una pregunta”, lo que dificulta captar la racionalidad del proceso científico y hace que los conocimientos aparezcan como construcciones arbitrarias (Fernández et al., 2002, p. 480). Por otra parte, al no contemplar la evolución de los conocimientos, es decir, al no tener en cuenta la historia de las ciencias, se desconoce cuáles fueron las dificultades, los obstáculos epistemológicos que fue preciso superar, lo que resulta fundamental para comprender las dificultades de los alumnos (Saltiel & Viennot, 1985). Es por ello que es importante tener conocimiento sobre la historia de la Química ya que los profesores podemos utilizarla como una herramienta para definir los conceptos estructurantes (en este caso el CEQ) y también como un tema de clase en donde se pueden analizar o indicar las dificultades que hubo para desarrollarlas, los problemas conceptuales y los obstáculos que fue necesario superar.

Así mismo, de acuerdo con lo indicado por Holton (1982, p.33) uno de los “themata” transversales de la Historia de la Filosofía ha sido la idea de elemento químico definida como “aquella estructura ideada que permanece a pesar de la diversidad de los cambios materiales observados”. Esta idea será fundamental para poder tener una explicación unitaria de los cambios de la materia. Así pues, las dos preguntas fundamentales a realizarse en cualquier visión ontológica de los cambios físicos y químicos será: ¿Qué cambia en una transformación? Y ¿qué es lo que permanece? (Kuhn, 1971).

Después de esta breve introducción sobre el CEQ, la hipótesis de trabajo de la que se parte (para detectar deficiencias didácticas en la enseñanza del CEQ) se basa en que la enseñanza habitual de la Física y la Química sigue métodos convencionales de transmisión verbal de los conocimientos científicos, con las limitaciones que esto implica y que no facilitan el aprendizaje del alumnado. A

partir de esta hipótesis se derivarán consecuencias al analizar, en particular, las posibles deficiencias de tipo conceptual, epistemológico y axiológico que se presentarán en la introducción del CEQ. Para efectos de este trabajo, sólo se mencionarán las consecuencias debidas a deficiencias conceptuales y epistemológicas en la enseñanza de la Química. En particular, se analizará la visión aproblemática y ahistórica de la Ciencia en la introducción del CEQ.

Así pues, se asumirá que se presenta una visión aproblemática y ahistórica de la Ciencia por parte del profesorado de Química, sino se plantea una situación problemática de interés que permita saber cuál es el problema general que se intenta resolver al enseñar el CEQ, en particular:

- Una explicación general o unitaria a la diversidad de materiales ordinarios y a los cambios químicos que ocurren en estos materiales con la finalidad de poder transformarlos, crear nuevos y cubrir las necesidades humanas en este dominio, y
- La búsqueda de regularidades en este caso implica imaginar como hipótesis general, que todos los materiales (por muy diferentes que sean) están formados estructuralmente por unos pocos materiales más simples a los que denominamos elementos químicos y que serán los que se conservan en los cambios químicos.

Dado que el factor externo que más puede influir en el aprendizaje es la enseñanza recibida, es preciso analizar cómo se realiza el proceso de enseñanza para salir al paso de posibles deficiencias didácticas que pudiesen obstaculizar el aprendizaje. Es por ello que en este trabajo se pretende resolver la siguiente cuestión: ¿El profesorado y los libros de texto desconocen la historia y epistemología del CEQ? Es decir, ¿presentan una visión ahistórica y aproblemática del CEQ?

2. METODOLOGÍA

En el desarrollo experimental participaron 48 profesores mexicanos con una experiencia docente en secundaria y bachillerato, entre 6 y 34 años de servicio. La mayoría con una formación profesional de Licenciado en Ciencias Químicas. Respecto a los textos analizados, se revisaron 30 libros, de los cuales 13 correspondían al nivel Bachillerato y 17 al nivel universitario de Química General.

Con la finalidad de determinar si la pregunta de investigación era válida o no, se propusieron dos diseños experimentales convergentes. Uno de ellos estaba dirigido a mostrar la visión ahistórica del CEQ y el otro a evidenciar la visión aproblemática del CEQ. El primer diseño consta de dos ítems: uno dirigido a los profesores y el otro, a los libros de texto. El segundo diseño está formado por cuatro ítems: de los cuales tres están dirigidos a los profesores y uno a los libros de texto.

El análisis fue realizado por separado por dos investigadores y, en el caso de existir discrepancias en algún ítem se revisaba nuevamente y si subsistían, se eliminaba o se solicitaba la intervención de un tercero.

3. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del análisis realizado. En primer lugar se expondrán los resultados correspondientes a la visión ahistórica y posteriormente los referentes a la visión aproblemática de la ciencia.

a) ¿El profesorado y los libros de texto de Química introducen el CEQ con una visión ahistórica de la ciencia?

La pregunta que se hizo al profesorado para confirmar esta visión fue la siguiente: ¿Haces algún comentario histórico o referencia de algún científico o científica que haya contribuido a la introducción del CEQ? En caso afirmativo, ¿con cuál o cuáles lo asocias? Dicha pregunta tenía como objetivo ver si los profesores utilizaban referencias o comentarios históricos sobre las diferentes definiciones de elemento químico saliendo al paso de una visión ahistórica de la Química.

Los resultados indican que la visión ahistórica está presente pues prácticamente la mitad de los profesores (43,7%) asocian algún nombre a la idea de elemento químico sin estar seguros de lo que contestan, sólo indican anecdóticamente nombres de científicos(as) de forma muy superficial. Siendo un buen ejemplo, el siguiente caso:

“El científico que lo descubrió. Algunos elementos químicos llevan el nombre del científico.” (Profesor #7).

Por otro lado, únicamente el 6,2% del profesorado hace algún comentario explícito sobre las aportaciones de científicos a la definición de elemento químico, lo que está de acuerdo con los resultados de algunos estudios previos (Solbes & Traver, 1996). A continuación se muestra un ejemplo de respuesta positiva, contraria a la hipótesis:

“Sí, menciono que fue Roberto Boyle quien utilizó por primera vez el concepto de elemento y que echó abajo la creencia de los 4 elementos (tierra, aire, agua y fuego) y que 100 años después de Boyle otro gran científico Antonio Lavoisier también definió lo que es elemento químico.” (Profesor #4)

Aquí se presenta, una visión crítica del CEQ utilizada por los químicos empiristas (Boyle y Lavoisier), aunque también pueden cuestionarse las frases atribuidas tanto a Boyle como a Lavoisier. Hay que recordar que Boyle clasifica los cuerpos en mezclas, cuerpos perfectamente mezclados (que vendrían a ser los compuestos actuales) y cuerpos perfectamente sin mezcla, que serían los que actualmente denominamos sustancias simples (Davis, 1931; Kuhn, 1952; Boas, 1954; Neville, 1961); más no define el CEQ. Más bien, gracias a sus sugerencias, las sustancias se convirtieron en tema de investigación experimental, y se trataron de identificar aquellas sustancias que no podían dividirse en otras más simples (Fernández, 1999). Por lo que corresponde a Lavoisier, éste defiende su definición operacional de sustancia simple como último término del análisis químico de las sustancias, pero no entra en la definición ontológica de elemento químico. Lavoisier confiere a su definición de “elemento” el carácter operacional y significativo cuando se aplican criterios operacionales para “analizar” las sustancias (Rocke, 1986).

Respecto al análisis de los libros de texto, el ítem aplicado fue el siguiente: ¿Se presenta al menos, un comentario o texto histórico sobre las dificultades o problemas que se presentaron en la construcción del CEQ? Este ítem tenía por objeto analizar si el texto salía al paso de una visión ahistórica de la ciencia, es decir, sino prestaba atención al aspecto epistemológico que se ha de tener en cuenta cuando se introducen los conceptos científicos.

Se encontró que solamente una tercera parte (26,6%) de los libros cuentan con un mínimo histórico de los orígenes y evolución del CEQ. Un ejemplo de cómo se puede presentar el contexto histórico en el que surge el CEQ, lo encontramos en el texto siguiente:

“Los elementos de Aristóteles se refieren a los estados más bien que a los tipos de materia. Por tanto, el concepto aristotélico de elemento está muy lejos del concepto moderno, y ambos parecen tener en común solamente la tendencia a simplificar la Naturaleza. El concepto moderno de elemento como forma simple de materia fue introducido, por primera vez, por el científico inglés Robert Boyle (1627-1691) en su libro *The Skeptical Chymist*, publicado en 1662. La primera aplicación afortunada del concepto de Boyle fue hecha por el químico francés Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), quien dio una tabla esencialmente correcta de treinta y tres elementos (incluyendo, no obstante, el calor y la luz) en su libro *Traité élémentaire de Chimie*, 1789” (Pauling, 1961, p. 80).

En este ejemplo, Pauling hace referencia a dos momentos históricos importantes en la evolución del CEQ. A continuación nos detendremos a ahondar un poco en cada uno de ellos:

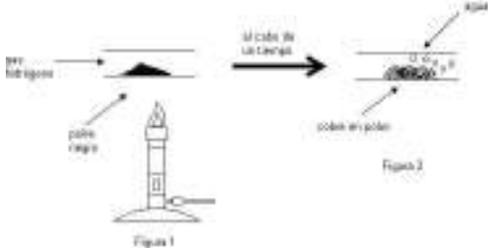
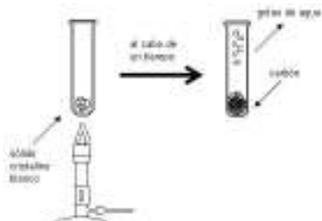
- a) El primero se refiere al Modelo aristotélico-escolástico, cuyo objetivo era explicar los cambios materiales. La teoría de los cuatro elementos perduró hasta casi la mitad del siglo XVII. El desarrollo de la alquimia durante la Edad Media, los avances en la manipulación de los materiales y los logros en farmacia y metalurgia hicieron necesaria la introducción del concepto operacional de sustancia (Chalmers, 1998).
- b) El segundo se refiere al modelo macroscópico de los filósofos mecánicos (Boyle) y de los químicos (Lavoisier) en los siglos XVII y XVIII. En su libro *The Sceptical Chymist* (1661), Boyle realiza una aguda crítica a la teoría de los cuatro elementos y clasifica a los cuerpos en *mezclas*, *cuerpos perfectamente mezclados* (compuestos) y *cuerpos perfectamente sin mezcla* (sustancias simples), contribuyendo así al establecimiento de la definición operacional de sustancia (Boas, 1954). Por su parte, Lavoisier en el prefacio de su obra *Traité élémentaire de chimie* (1789) define a la sustancia simple como último término del análisis químico (definición operacional) cuando las técnicas así lo permitiesen. Y publica su *Tabla de sustancias simples*, la cual muestra 33 sustancias simples que como podía esperarse, cuando se aplicaron nuevos procedimientos, ocho de ellos quedaron fuera de la tabla por ser sustancias compuestas y otros dos (la luz y el calórico) fueron clasificados erróneamente (Atkins, 2003).

Como puede observarse, los resultados obtenidos en los dos ítems analizados (profesorado y libros) son convergentes. Existe una relación donde solamente 6,2% de los profesores sale al paso de una visión ahistórica del CEQ. Respecto a los libros de texto analizados, encontramos que este porcentaje aumenta al 26,6%. Esto puede explicarse debido a que el 60% de los libros son de Química General (universitarios), y, por tanto, esta muestra es de nivel superior a la de los profesores de secundaria y bachillerato encuestados. Este porcentaje (26,6%) es congruente con los resultados obtenidos por Solbes & Traver (1996) quienes encontraron que el porcentaje de contenidos históricos de determinados conceptos es el 19,4% en una muestra de 13 libros de texto de Física y Química.

b) ¿El profesorado y los libros de texto de Química explicitan cuál es el problema estructurante que trata o ha tratado de resolver el CEQ a lo largo de los distintos modelos históricos que ha habido para explicar la diversidad de materiales existentes?

Al igual que en el apartado anterior se empezará por mostrar los resultados obtenidos por el profesorado. En este caso se aplicaron 3 ítems, en seguida se enumera cada uno de sus objetivos.

Tabla 1. Ítems aplicados al profesorado para explorar su conocimiento sobre el CEQ.

Ítem	Objetivo perseguido
<p>1. Si como profesor(a) tuvieras que evaluar en un examen, qué es lo que permanece en una reacción química donde intervienen 2 sustancias, escribe la respuesta que considerarías correcta</p>	<p>Ver en qué medida los profesores utilizan como invariante operatorio la conservación de los átomos o de los elementos químicos en la reacción química</p>
<p>2. El polvo negro que hay en el tubo de la figura adjunta es una sustancia compuesta. Si se calienta no le sucede nada, pero si al mismo tiempo que se calienta se le hace pasar un chorro de hidrógeno gaseoso, se forman agua y la sustancia simple cobre. Explica qué ha sucedido para que se formen agua y cobre</p> 	<p>Ver si el profesorado es capaz de interpretar un proceso químico desconocido a través de la recombinación de los elementos (en el sentido de conjunto de átomos iguales) presentes en los reactivos al pasar a productos</p>
<p>3. Se coloca un sólido cristalino blanco en el interior de un tubo de ensayo. Cuando se calienta el tubo de ensayo, el sólido blanco se convierte en carbón (sólido negro) y gotas de agua. Explica qué ha sucedido para que aparezcan estos productos.</p> 	

Para presentar los resultados y análisis de esta visión aporoblemática se decidió tratar los 3 ítems en conjunto (ver Tabla 2 abajo). Para el ítem 2 se eligieron como respuestas correctas en primer lugar, aquellas que mencionasen “número de átomos de los diferentes elementos químicos o los elementos químicos”. En una segunda categoría de respuestas positivas, se escogieron aquellas respuestas que hicieran referencia a “la masa y/o ley de Lavoisier, energía y/o carga eléctrica.” El porcentaje encontrado en las primeras, fue de un 25% en promedio y de las segundas alrededor de un 50%, prácticamente el doble que las anteriores. Por lo que se puede afirmar que el profesorado no tiene una idea a priori sobre lo que se conserva durante una reacción química.

Respecto al ítem 3, para considerar válida la respuesta se tomó como criterio de evaluación si se identificaba correctamente la composición del polvo negro como un compuesto formado por los elementos cobre y oxígeno o si se mencionaba que se produce una reacción en la que el oxígeno reacciona con el hidrógeno para formar agua y el cobre del compuesto queda libre. El porcentaje obtenido para la muestra de profesores fue de 67%. Este resultado fue mayor al 25% encontrado en el ítem anterior y puede decirse que cuando los elementos de una reacción química dada son conocidos, se asocia inmediatamente que éstos permanecen constantes; a diferencia de cuando se hace la pregunta abierta (ítem 2).

A continuación se expone un ejemplo correcto:

“El polvo negro es un óxido de cobre, al pasar el hidrógeno y calentar, el polvo se descompone y el hidrógeno con el oxígeno forma el agua y queda solo el cobre.”
(Profesor #4)

Para el análisis del ítem 4 se tomaron los mismos criterios que para el ítem anterior debido a que el objetivo perseguido era el mismo, lo único que cambió fue la reacción química (reactivos y productos). En este caso sólo se identificaron 35,4% como respuestas correctas, porcentaje menor respecto a los 2 ítems anteriores.

A continuación se señala un ejemplo considerado como respuesta correcta:

1. “El producto formado nos da evidencia de los átomos que conforman la sustancia que forma el sólido cristalino blanco y estos son: carbono, oxígeno e hidrógeno; aunque el oxígeno que conforma el agua puede haber sido del medio ambiente.
2. La energía calorífica nos dice que es la responsable del rompimiento de enlaces de este sólido cristalino que probablemente es sólo una sustancia.
3. El carbón obtenido es debido a la descomposición de la sustancia orgánica y el agua formada es por la unión de átomos de hidrógeno y átomos de oxígeno de la sustancia inicial, formando por ende un elemento llamado carbón y un compuesto llamado agua.
4. La representación de este cambio químico, es importante que el alumno intente representarla para su discusión posterior.” (Profesor #32)

Tabla 2. Comparación del porcentaje de respuestas correctas de los ítems 2, 3 y 4 sobre la interpretación de un proceso químico a través de la recombinación de sus elementos. Encuesta aplicada a la muestra de Profesores de Química en activo (48).

Nº Ítem	Contenido	Profesores en activo (%) (N=48)
2	Conservación de los elementos en una reacción química	77
3	Conservación de los elementos en la reducción del CuO	67
4	Conservación de los elementos en la descomposición del azúcar	35,4

Finalmente, podemos observar en conjunto que a medida que el grado de dificultad del ítem aumenta, las respuestas correctas del profesorado disminuyen. El ítem 2 puede considerarse como una pregunta general, es decir, puede aplicarse a cualquier proceso químico. Para los siguientes ítems (3 y 4) el grado de dificultad aumenta, ya que para el 3 se mencionaba cuál era uno de los reactivos (hidrógeno gaseoso) y además se decía que se trataba de una sustancia compuesta, también se mencionaban los productos obtenidos (agua y cobre) para derivar con el invariante operatorio, es decir, los elementos químicos que podría tener el segundo reactivo (CuO). En cambio, para el ítem 4 solamente se daba la información de las sustancias obtenidas (carbón y agua), sin decir que se partía de una sustancia compuesta.

Para concluir con el análisis de la visión apromblemática del CEQ en los libros de texto, el ítem aplicado fue el siguiente: “¿Se presenta, al menos, un motivo o un problema por el cual se hace necesario introducir la idea de elemento químico?”.

Como resultado se obtuvo que más de la mitad de los textos analizados (57%) introducen el CEQ sin presentar ninguna justificación epistemológica, es decir, sin salir al paso de una visión apromblemática de la Ciencia. Es importante resaltar que menos de la mitad de los textos analizados (43%) muestran como necesidad o motivo para introducir el CEQ, la búsqueda de explicación de la diversidad de materiales existentes como se muestra en el siguiente párrafo de un texto:

“Si examinamos los materiales que nos rodean, encontramos una inmensa variedad que incluye diferentes colores, texturas, dureza, solubilidad y durabilidad. Los materiales de nuestro mundo ofrecen marcadas y al parecer infinitas diferencias, y a pesar de ello sólo existen unos 100 elementos y por tanto sólo 100 clases de átomos que dan lugar a esta diversidad. En cierto sentido, los átomos son como las 27 letras del alfabeto, que se unen en diferentes combinaciones para formar la gran cantidad de palabras de nuestro idioma. Pero, ¿cómo se combinan los átomos entre sí? ¿Qué restricciones hay en cuanto a sus combinaciones? ¿Qué relación hay entre las propiedades de una sustancia y las clases de átomos que contiene? Por cierto, ¿qué aspectos tiene un átomo y qué hace a los átomos de un elemento diferentes de los de otro?”. (Brown & Lemay, 1998, p. 37)

4. CONCLUSIONS

La enseñanza del CEQ efectivamente es ahistórica y aproblemática. El profesorado desconoce la filosofía e historia de la Ciencia y no tiene una visión crítica de la evolución de la Química. Por otro lado, en los libros de texto hay una ausencia de temas relacionados respecto a la historia y a la evolución del CEQ. Considero que la historia de las ciencias puede utilizarse en la enseñanza como una herramienta para definir los conceptos estructurantes y también como un tema de clase en donde se pueden analizar o indicar las dificultades que hubo para desarrollarlas, así como los obstáculos que fue necesario superar en dicha construcción del conocimiento. Como mencionan Gagliardi & Giordan (1986) sobre la importancia que tiene el estudio de la historia de las ciencias en la enseñanza: el conocimiento de la historia será muy útil superar la idea generalizada que transmite la escuela de que todo conocimiento científico es una verdad a la que se llegó simplemente por la acumulación de experiencias exitosas y también que no existe un único descubridor para un concepto o una teoría, sino que hay contribuciones parciales que respondieron a las preguntas planteadas en cada época.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFICAS

- ATKINS, Peter. *El dedo de Galileo. Las diez grandes ideas de la Ciencia*. Madrid: Espasa, 2003.
- BACHELARD, Gaston. *La Formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. México: Siglo XXI, 1993.
- BOAS, Marie. An early version of Boyle's Sceptical Chymist. *ISIS* **45** (2): 153-168, 1954.
- BROWN, Theodore; LE MAY, Eugene. *Química. La ciencia central*. México: Pearson Educación, 1998.
- CAAMAÑO, Aureli; MAYÓS, C., MESTRE, G. & VENTURA, T. Consideraciones sobre algunos errores conceptuales en el aprendizaje de la química en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias* **1** (3): 198-200, 1983.
- CHALMERS, Alan. Retracting the ancient steps to atomic theory. *Science & Education* **7** (1): 69-84, 1998.
- DAVIS, Tenney. Boyle's conception of element compared with that of Lavoisier. *ISIS* **16** (1): 82-91, 1931.
- DOMÍNGUEZ, Consuelo; FURIÓ, Carles. Knowing the history of science to understand students difficulties with the concept of chemical substance. Vol. I. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE EDUCATION RESEARCH IN THE KNOWLEDGE BASED SOCIETY, August 2001, Thessanoliiki. *Proceedings...* Thessanoliiki: ESERA-University of Thessanoliiki, 2001. P. 365-367.
- DOMINGUEZ, Consuelo. *Dificultats en la comprensió dels conceptes de substància química, substància simple i compost. Proposta de millora basada en estratègies d'ensenyament-aprenentatge per investigació orientada*. València, 2004. Tesis (Doctoral inédita, no publicada) - Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València.
- FERNÁNDEZ, Manuel. Elementos frente a átomos. Raíces históricas e implicaciones didácticas. *Alambique* **21**: 59-66, 1999.
- FERNÁNDEZ, Isabel; GIL, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; CACHAPUZ, Antonio; PRAIA, João. Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* **20** (3): 477-488, 2002.

- FURIÓ, Carles. Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* **12** (2): 188-199, 1994.
- FURIÓ, Carles; DOMÍNGUEZ, Consuelo. Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias* **25** (2): 241-258, 2007.
- GAGLIARDI, R.; GIORDAN, A. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* **4** (3): 253-258, 1986.
- HOLDING, B. *Aspects of secondary students' understanding of elementary ideas in chemistry: Summary report. Children's Learning in Science Project.* Centre for Studies in Science and Mathematics Education: University of Leeds, 1985.
- HOLTON, Gerard. *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein.* Madrid: Alianza Universidad, 1982.
- KUHN, Thomas. Robert Boyle and structural chemistry in the seventeenth century. *ISIS* **43** (1): 12-36, 1952.
- KUHN, Thomas. *La estructura de las revoluciones científicas.* México: Fondo de Cultura Económica, 1971.
- LAUGIER, André; DUMON, Alain. Obstacles épistémologiques et didactiques à la construction du concept d'élément chimique: quelles convergences? *Didaskalia* **22**: 69-97, 2003.
- LÓPEZ-VALENTÍN, Dulce María. *La enseñanza y el aprendizaje del concepto de elemento químico en la educación secundaria y el bachillerato. Análisis crítico y propuesta de mejora.* Valencia, 2008 Tesis (Doctoral inédita, no publicada) - Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Valencia.
- LLORENS, Juan Antonio. *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular.* Madrid: Visor, 1991.
- MCCOMAS, William; CLOUGH, Michael; ALMAZROA, Hiya. The role and character of the nature of science in science education. Pp. 3-39, in: MCCOMAS W. F. (ed.). *The nature of science in education, rationales and strategies.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- NEVILLE, Roy. "The Sceptical Chymist," 1661. *Journal of Chemical Education* **38** (3): 106-109, 1961.
- PAULING, Linus. *Química General. Una introducción a la Química descriptiva y a la moderna teoría química.* Madrid: Aguilar, 1961.
- POZO, Juan Ignacio; GÓMEZ CRESPO, Miguel Angel; LIMÓN, M.; SANZ SERRANO, A. *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química.* Madrid: CIDE, 1991.
- ROCKE, Alan. *Chemical Atomism in the Nineteenth Century.* Columbus: Ohio State University Press, 1986.
- SALTIEL, E.; VIENNOT, L. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias* **3** (2): 137-144, 1985.
- SOLBES, Jordi; TRAVER, Manuel. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la Física y la Química. *Enseñanza de las Ciencias* **14** (1): 103-112, 1996.
- SOLSONA, Nuria; IZQUIERDO, Mercè. La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria. *Alambique* **17**: 76-84, 1998.

O TRATAMENTO DADO À HISTÓRIA DA BIOLOGIA NOS LIVROS DIDÁTICOS BRASILEIROS RECOMENDADOS PELO PNLEM-2007: ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DE GREGOR MENDEL¹

Fabrizio Barbosa Bittencourt*
Maria Elice Brzezinski Prestes**

Resumo: Este trabalho tem o objetivo de verificar o conteúdo histórico presente em livros didáticos brasileiros de biologia recomendados pelo Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007, segundo disposto na portaria nº 501 do Ministério da Educação (MEC), de 14 de fevereiro de 2006. A fim de realizar essa análise foi selecionado um episódio relativo à História da Genética que se supunha, dada sua relevância, estar presente nos nove livros que compõem a lista citada: as contribuições de Gregor Mendel (1822-1884). O método de trabalho consistiu na adoção, acompanhada de adaptação, de um protocolo já utilizado pela literatura da área. Trata-se de uma ferramenta de análise que leva em conta aspectos quantitativos e qualitativos da informação histórica disponibilizada. Os aspectos que foram analisados nas narrativas históricas selecionadas foram: contexto epistêmico; contexto não-epistêmico; vida dos personagens; características dos personagens; comunidade de estudiosos, abordagem de ideias; desenvolvimento da ciência. Os resultados obtidos mostram que a abordagem histórica presente nos livros analisados permanece mantendo vícios historiográficos, além de equívocos históricos, que já foram largamente discutidos na História da Ciência desde meados do século XX. Sugere-se aos professores que adotam esses livros que façam uma leitura crítica desses textos junto aos alunos, por meio de discussões meta-cognitivas que explicitem os efeitos de tais abordagens sobre a compreensão da Natureza da Ciência (NdC).

Palavras-chave: História da Ciência; História da Genética; Gregor Mendel; Natureza da Ciência; livro didático; PNLEM.

¹ Este trabalho consiste em parte de uma dissertação de mestrado, defendida em 2013, do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo.

* Mestrando no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. Rua do Matão, sem número, em frente ao 277, Edifício Felix Kurt Rawitscher, sala02, Cidade Universitária, São Paulo, SP, CEP 05508-090. E-mail: prof_fabrizio@ig.com.br

** Departamento de Genética e Biologia Evolutiva do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Rua do Matão, 277, sala 317A, Cidade Universitária, São Paulo, SP, CEP 05508-090. E-mail: eprestes@ib.usp.br

AN ANALYSIS OF THE HISTORICAL CONTENT PRESENT IN BRAZILIAN TEXTBOOKS RECOMMENDED BY PNLEM-2007: MENDEL'S CONTRIBUTIONS

Abstract: *This work aims to verify the historical content present in Brazilian Biology textbooks recommended by the National Textbook for High Schools (PNLEM-2007), according to Ministry of Education's (MEC) ordinance (number 501) of February 14th, 2006. It was selected for analysis an episode on the History of Genetics that was supposed, given its relevance, to be present in the nine books that make up the previously mentioned list: the contributions of Gregor Mendel (1822-1884). The working method for analyzing the contents of a historical nature consists in the adoption, accompanied by adaptation, of a protocol already presented in the literature. It is an analysis tool that takes into account quantitative and qualitative aspects of the historical information available. The analyzed aspects in historical narratives were: epistemic context; non-epistemic context; the characters' lives and their personalities; community of scholars; approach of ideas and development of Science. The results show that the historical approach on the books analyzed remains keeping historiography vices and historical misconceptions that have been widely discussed in the History of Science since the mid-twentieth century. It is suggested to the teachers that choose these books to make a critical reading of these texts with the students, through meta-cognitive discussions that explicit the effects of such approaches to understanding the Nature of Science (NOS).*

Key-words: *History of Science; History of Genetics; Gregor Mendel; Nature of Science; textbooks; PNLEM.*

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa destina-se à análise de abordagem histórica contida nos nove livros didáticos brasileiros de Biologia sugeridos pelo Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM/MEC) de 2007, segundo a portaria nº 501 do Ministério da Educação (MEC), de 14 de fevereiro de 2006. A análise foi realizada mediante a utilização de uma ferramenta proposta originalmente por Laurinda Leite (2002) para episódios de História da Física, adaptada por Paulo Vidal (2009) em episódio da História da Química, com novas alterações na presente pesquisa. Trata-se de um guia ou protocolo de análise que pode, de fato, ser aplicado a qualquer área da História da Ciência e para qualquer tipo de episódio.

O episódio histórico selecionado para a análise foi o da contribuição de Gregor Mendel (1822-1884) sobre experimentos de hibridização de plantas, restringindo ao que é apresentado nos livros didáticos como primeira e segunda leis de Mendel. A delimitação foi necessária para assegurar uma análise aprofundada do episódio. Por sua vez, esse tópico foi escolhido devido à sua relevância no ensino da genética clássica, além de constituir item curricular sugerido nos Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1999), Brasil (2002, p. 46), bem como, mais recentemente, na Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Biologia (Fini, 2008, p. 52).

Genética é considerada um assunto difícil de ensinar e aprender, com dificuldades específicas (Longden, 1982, p. 135). Também é conhecida a limitação na compreensão da natureza da informação genética pelos alunos, e o nível de confusão em relação às estruturas básicas biológicas, como célula, cromossomo e gene, e suas inter-relações (Lewis &

WoodRobinson, 2000, p. 177). Tal dificuldade encontrada pelos alunos está relacionada ao alto grau de abstração dos conceitos genéticos (Tsui & Treagust, 2003, p. 96).

É bem conhecida a tese de que a compreensão de resultados mais complexos das ciências pode ser muito facilitada pelo conhecimento histórico. Para evitar a memorização e repetição de conceitos, a história da ciência fornece a “fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas. Ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente doutrinar e não ensinar ciência” (Martins, 1990, p. 4).

Embora não sugira uma abordagem sistemática do uso da História da Ciência na grade curricular, os Parâmetros Curriculares Nacionais são explícitos quanto à importância do tema, como se pode verificar no trecho:

Elementos da história e da filosofia da Biologia tornam possível aos alunos a compreensão de que há uma ampla rede de relações entre a produção científica e o contexto social, econômico e político. É possível verificar que a formulação, o sucesso ou o fracasso das diferentes teorias científicas estão associados a seu momento histórico (Brasil, 1999, p. 219).

Outros papéis são atribuídos ao ensino da História da Ciência na educação básica e superior, tais como, a humanização dos conteúdos científicos, tomando-os de modo integrado aos aspectos éticos, culturais, econômicos e políticos da sociedade (Matthews, 1994). Além disso, a História da Ciência pode constituir-se em ferramenta para promover uma melhor compreensão dos estudantes acerca da Natureza da Ciência (NdC) (Lederman, 2007).

A importância da análise dos livros didáticos (LDs) reside no fato de eles consistirem uma importante fonte utilizada para a preparação das aulas de ciências pelos professores brasileiros (Mortimer, 1988, p. 35; El-Hani *et al.*, 2007, p. 494). Lembre-se que, além de material bibliográfico de apoio ao trabalho do professor, o livro didático é também amplamente utilizado pelos alunos das escolas brasileiras (Megid Neto & Fracalanza, 2003, p. 148).

2. O TRATAMENTO DADO AO LIVRO DIDÁTICO NO BRASIL

No Brasil, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), desenvolvido pela Fundação Nacional para o Desenvolvimento da Educação (FNDE) do Ministério da Educação (MEC), de 1994, foi responsável por uma grande melhoria na qualidade dos livros didáticos do Ensino Fundamental disponíveis no mercado. A importância do PNLD é reconhecida por tratar-se de iniciativa do Governo Federal que orienta a aquisição e distribuição de livros didáticos às escolas públicas de todo o país. Para se ter ideia do vulto dessa distribuição, o Governo Federal adquiriu, de 1994 a 2004, um volume total de 1,06 bilhão de unidades de livros didáticos, com um investimento da ordem de R\$ 3,7 bilhões (Brasil, Livro didático).

Em 2004, o Programa expandiu-se com a implantação do Plano Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM). Até o início de 2005, atendeu 1,3 milhão de alunos da primeira série do ensino médio de 5.392 escolas das regiões Norte e Nordeste, distribuindo 2,7 milhões de livros de Matemática e Português. Em 2006, com a universalização da distribuição de livros didáticos dessas duas disciplinas, 7,01 milhões de alunos tiveram acesso a esse material. Nos anos de 2006 e 2007, o MEC divulgou a avaliação de livros didáticos de Biologia, Física, Química, Geografia e História, que

passaram a ficar disponíveis para escolha dos professores (Brasil, PNLD).

A sistemática de avaliação dos livros didáticos de Biologia foi feita a partir de obras inscritas pelas próprias editoras, chamadas por meio de anúncio público. Um grupo de 26 professores universitários e 2 professores do Ensino Médio de Biologia foi constituído pelo MEC para promover a avaliação. Foi criado um protocolo de análise, constituído por um conjunto de critérios reunidos em quatro grandes classes: (1) correção conceitual e adequação, assim como precisão da informação básica, (2) adequação metodológica e coerência, (3) promoção de visão adequada sobre a construção do conhecimento científico e (4) princípios éticos (El-Hani; Roque & Rocha, 2007, p. 507).

A terceira classe de critérios gerais, “promoção de visão adequada sobre a construção do conhecimento científico”, incluiu cinco itens, de caráter eliminatório, relacionados a aspectos da Natureza da Ciência (NdC), e oito itens, de caráter classificatório, dentre os quais está contemplada a problemática histórica: “um tratamento adequado da história da ciência nos livros didáticos, que não deve ser limitado a biografias de cientistas ou descobertas isoladas, mas, ao contrário deve ser integrada apropriadamente no tratamento dos conteúdos” (El-Hani; Roque & Rocha, 2007, p. 509).

Em 2008, como resultado dessa avaliação, foram sugeridas as seguintes obras, conforme Portaria no 501, de 14 de fevereiro de 2006:

Tabela 1. Obras aprovadas pelo PNLEM/2007 (Brasil, PNLD).

Títulos e autores dos LDs aprovados	Editora
Biologia – Lopes, S.G.B.C., Rosso, S.	Saraiva
Biologia - Frota-Pessoa, O.	Scipione
Biologia - Coleção Vitória Régia: Crozetta, M.A.S., Lago, S.R., Borba. A.A.	IBEP
Biologia - Favaretto, J.A., Pifaia, C.M.L.	Moderna
Biologia - Linhares, S.V. Gewandsznajder, F.	Ática
Biologia - Martho, G.R., Amabis, J.M.	Moderna
Biologia - Sasson, S., Silva Júnior, C.	Saraiva
Biologia - Paulino, W.R.	Ática
Biologia - Laurence, J. (Fernandes, M.P.)	Nova Geração

3. ANÁLISE DO EPISÓDIO HISTÓRICO NOS LIVROS DIDÁTICOS SELECIONADOS

A metodologia utilizada neste estudo consistiu de diversas etapas. A primeira delas foi o levantamento das obras aprovadas no PNLEM 2007. Como mostra a Tabela 1, a Portaria nº 501 relaciona apenas os títulos, nomes dos autores e editoras, não sendo informado o número da edição, nem o ano da publicação. Para tentar sanar essa lacuna foi feito contato telefônico e por email com as editoras. Contudo, as respostas obtidas foram que os livros não poderiam ser disponibilizados porque foram objeto de venda exclusiva ao MEC. Diante dessa dificuldade, buscou-se localizar os livros em centros de pesquisa em ensino, tal qual laboratórios da Universidade de São Paulo especializados em ensino de Biologia, em bibliotecas de escolas públicas da educação básica e junto a seus professores. O critério utilizado foi o de procurar os livros que tinham o selo ou equivalente do PNLEM-2007 na capa.

Contudo, persistia a dúvida a respeito de tais livros representarem efetivamente os textos aprovados pelo PNLEM 2007, já que se desconhecia a edição e ano corretos destes e nem sempre o

selo estava presente. Para buscar sanar o problema, foi realizado contato com o coordenador do Grupo de Pesquisa em História, Filosofia e Ensino de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Bahia que coordenou a avaliação dos livros didáticos de Biologia, Prof. Dr. Charbel Niño El-Hani. Foi franqueado um período de estágio de uma semana, de 26 a 30 de julho de 2010, que possibilitou o acesso direto às cópias cegas que foram objeto da avaliação, permitindo a comparação com os textos que haviam sido previamente levantados. Desse modo, podemos assegurar que esta análise foi feita sobre os livros aprovados pelo PNLEM 2007 de Biologia.

A segunda etapa da pesquisa consistiu na determinação dos capítulos ou trechos em que eram apresentadas as leis de Mendel. Os trechos selecionados foram xerocados para facilitar o tratamento com o protocolo de análise. A Tabela 2 contém as referências de onde foram extraídos os trechos encontrados, assim como a identificação das obras que será utilizada doravante.

Tabela 2. Referências dos trechos submetidos à análise e identificação das obras.

	Títulos e autores dos LDs aprovados	Páginas	Total de páginas
LD1	Martho, G.R.; Amabis, J.M. Biologia. São Paulo: Moderna, 2005. 3 vols.	18-32 63-95	48
LD2	Silva Júnior, C.; Sasson, S. Biologia. São Paulo: Saraiva, 2005. 3 vols.	12-32 100-108	30
LD3	Frota-Pessoa, O. Biologia. São Paulo: Scipione, 2005. 3 vols.	53-66 74-78	18
LD4	Paulino, W.R. Biologia. São Paulo: Ática, 2005. 3 vols.	59-85	27
LD5	Linhares, S.V.; Gewandsznajder, F. Biologia. São Paulo: Ática 2005	356-380	25
LD6	Laurence, J. Biologia. São Paulo: Nova Geração, 2005.	595-609 620-627	23
LD7	Adolfo, A.; Crozetta, M.; Lago, S. Biologia. São Paulo: IBEP, 2005.	260-268	09
LD8	Favaretto, J. A.; Mercadante, C. Biologia. São Paulo: Moderna, 2005.	118-127 138-148	21
LD9	Lopes, S.; Rosso, S. Biologia. São Paulo: Saraiva, 2005.	424-465	42

Como mencionado anteriormente, a análise foi realizada com uso de ferramenta proposta por Laurinda Leite (2002), adaptada por Paulo Vidal (2009). Na presente pesquisa, novas alterações foram realizadas, de modo que foram adotadas as seguintes categorias de análise:

3.1 CONTEXTO EPISTÊMICO

Nesta categoria foi verificada a presença de elementos diversos que fornecem o contexto epistemológico do episódio histórico em questão. O objetivo era o de verificar se estão presentes ilustrações e referências que possam permitir ao aluno a construção de uma visão ampla da época, percebendo limitações, bem como o impacto causado em seu próprio tempo ou na posteridade. Para isso, foram buscados os seguintes elementos:

1.1. Menção aos personagens: retratos, gravuras, pinturas, fotografias, desenhos e número de personagens mencionados no texto.

1.2. Instrumentos: imagem e descrição de instrumentos desenvolvidos e utilizados.

1.3. Objeto de estudo: ilustração e descrição do que foi focado nos estudos do personagem.

1.4. Técnicas: menção, descrição e ilustração de técnicas utilizadas.

1.5. Experimentos históricos feitos por ou atribuídos a personagens da ciência: menção, descrição, ilustração de experimentos clássicos.

1.6. Fontes primárias da História da Ciência: trechos traduzidos de originais escritos pelos personagens analisados, página de rosto de obras originais, ilustrações contidas em obras originais etc.

1.7. Fontes secundárias da História da Ciência: referência a textos, modelos, ilustrações realizadas por historiadores da ciência que analisaram o episódio em questão.

1.8. Outros: selos, carimbos, poesias, pinturas sobre elementos da pesquisa que está sendo apresentada.

3.2 CONTEXTO NÃO-EPISTÊMICO

Nesta categoria foi verificada a menção a aspectos amplos da época. O objetivo era o de verificar se a ciência aparece como sendo um domínio isolado da sociedade ou se são fornecidos elementos que permitem compreender que o conhecimento científico é parte integrante da cultura e da sociedade. Foram buscados elementos do âmbito:

2.1. Científico: a informação histórica está relacionada ao conhecimento científico disponível ou ausente na época.

2.2. Tecnológico: a informação histórica está relacionada ao conhecimento tecnológico disponível ou ausente na época.

2.3. Social: a informação histórica está associada às condições de vida e aos valores da época.

2.4. Político-econômico: a informação histórica está associada à questões políticas e econômicas da época.

2.5. Religioso: a informação histórica está associada às crenças religiosas da época.

3.3 VIDA DOS PERSONAGENS (ESTUDIOSOS, FILÓSOFOS, CIENTISTAS)

Nesta categoria foi verificada a presença de informações biográficas sobre o(s) personagem(ns)² envolvidos no episódio histórico em questão, bem como a acuidade e modo pelo qual essa informação foi fornecida. O objetivo era o de verificar se foram apresentados dados que indicam aspectos da vida comum. Foram buscados:

3.1. Nome completo: se ocorre ou não essa inserção na obra.

3.2. Data de nascimento e morte: se o autor estabelece o período de vida do personagem.

3.3. Nacionalidade: se o autor fornece a naturalidade do personagem.

3.4 Dados sobre a formação e atividade profissional do personagem central: onde estudou, andamento dos estudos, locais em que trabalhou etc.

3.5. Episódios e curiosidades da vida pessoal do personagem central: casamento, viagens, morte, etc.

² Adotamos neste protocolo a sugestão de Paulo Vidal (2009) que sugeriu o uso do termo “personagem” em vez de “cientista” (utilizado por Laurinda Leite), considerando que este último termo só foi cunhado no século XIX, não sendo, portanto, adequado para referir-se aos estudiosos da natureza que trabalharam nos séculos anteriores.

3.4 CARACTERÍSTICAS DOS PERSONAGENS CONSIDERADOS CENTRAIS PELO AUTOR

Nesta categoria foi verificada a presença de informações sobre as características pessoais e intelectuais dos personagens envolvidos no episódio histórico em questão, bem como a acuidade e modo pelo qual essa informação foi fornecida. O objetivo era o de verificar se os personagens foram apresentados de modo realístico, humanizado, ou idealizado em estereótipos de pessoas incomuns. Foram buscadas:

- 4.1. Características pessoais: sentimentos, caráter, humor, fama.
- 4.2. Características intelectuais: habilidades, informações das quais se possa fazer um juízo de valor da capacidade intelectual do personagem.
- 4.3. Aposto ou feitos extraordinários conferidos aos personagens: se é atribuída alguma expressão para reconhecimento do personagem ou alguma realização que levem a um juízo de valor.

3.5 COMUNIDADE DE ESTUDIOSOS

Nesta categoria foi verificada a menção a grupos de pesquisa e/ou à comunidade de estudiosos em geral. O objetivo era o de verificar se o conhecimento científico aparece como resultado do trabalho de pessoas isoladas ou que se relacionam de diferentes modos. Foram buscadas menções a:

- 5.1. Personagens individuais: um personagem é apontado como sendo o único responsável por uma ideia ou descoberta.
- 5.2. Grupos de personagens: mais de um personagem trabalhando em conjunto e com o mesmo propósito.
- 5.3. Interação com personagem: estudiosos em contato direto ou indireto com o personagem central.

3.6 ABORDAGEM DAS IDEIAS

Nesta categoria foi verificada a presença de simples menção ou descrição da ideia, conceito, teoria, descoberta científica do episódio histórico em questão, bem como a acuidade e modo pelo qual essa informação foi fornecida. O objetivo era o de verificar se a ideia, conceito, teoria ou descoberta foi apresentada pronta, acabada, ou se foram fornecidos dados que permitem conhecer o modo como foi desenvolvida, fundamentada e validada pela comunidade científica. Foram buscadas:

- 6.1. Simples menção: se a ideia é simplesmente citada pelo autor.
- 6.2. Desenvolvimento: se há detalhamento da ideia desenvolvida pelo autor.
- 6.3. Fundamentação: se são apresentadas informações que fundamentem o pensamento do personagem.
- 6.4. Aceitação ou não na época: análise de como se deu a repercussão das ideias apresentadas pelo personagem, seja na época ou em algum período posterior.
- 6.5. Correlação com ideias posteriores e/ou atuais: encadeamento com pensamentos futuros à ideia apresentada.
- 6.6. Aplicação prática da ideia nos dias de hoje: ressalva de alguma prática atual que de algum modo possa ter se originado da ideia apresentada.

3.7 DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA

Nesta categoria foi verificado o modo pelo qual foi apresentado o desenvolvimento da ciência ao longo do tempo. O objetivo era o de verificar se os conhecimentos científicos são retratados com ausência de menção cronológica, como eventos não interligados; desenvolvidos de maneira linear e progressiva ou, finalmente, se aparecem em um compasso mais realístico, sujeito a idas e vindas, a controvérsias, a becos sem saída. Foram buscadas:

7.1. Ausência de menção a algum período: sem informação cronológica alguma.

7.2. Menção explícita a um único período: trata de apenas um momento histórico, sem interligar com outros.

7.3. Menção a períodos discretos, isolados: períodos ou ideias mencionadas não são relacionados entre si.

7.4. Desenvolvimento linear: desenvolvimento progressivo de um evento a outro, relacionando entre si diferentes períodos e ideias, mas sendo diretamente ligados entre si segundo uma cronologia progressiva.

7.5. Desenvolvimento histórico: são relacionados entre si diferentes períodos e ideias, indicando os eventuais movimentos de “idas” e “voltas”, incluindo controvérsias.

Além da contagem de menções realizadas (representado por “M” nas Tabelas 4 a 9), também foi realizada uma escala de valoração (representada por “V” nas Tabelas 3 a 9). Essa escala tem a finalidade de que, para cada categoria, possamos atribuir uma nota ao livro de forma comparativa aos demais de acordo com o tratamento dispensado à História da Ciência. Para tal seguem as regras básicas de valoração:

- para cada menção distinta da subcategoria analisada que contribua para uma melhor interpretação da NdC, é conferido a esse quesito o valor (+1).

- para cada menção de determinada subcategoria que contenha uma mesma contribuição para uma melhor visão da NdC já evidenciada ou uma que não contenha nem melhora, nem piora da compreensão da NdC, é conferido a esse quesito o valor (0).

- para cada ausência de menção da subcategoria analisada, é conferido o valor (-1).

- para cada presença de menção distinta da subcategoria analisada que seja prejudicial à visão da NdC, é conferido a esse quesito o valor (-2).

Esses valores atribuídos geram uma somatória de pontos aos livros, que, em seqüência, são normalizados de zero a dez, sendo esta a nota parcial (N) que o livro recebe por categoria. Ao final das análises é realizada a média aritmética dessas notas parciais (N1 a N7) obtendo-se uma nota geral (NG) para o tratamento histórico do episódio analisado em cada obra.

Com essa valoração, queremos ressaltar a importância de se lançar mão da História da Ciência como ferramenta para uma melhoria da visão do leitor, seja ele o professor de Ciências ou o aluno, acerca da natureza da Ciência, e também, evidenciar como os livros didáticos são díspares quanto a este uso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a leitura e reconhecimento dos trechos analisados, foi feita a seleção das passagens a serem contabilizadas e atribuídos os valores conforme as regras especificadas. Assim, foi realizado o preenchimento de tabelas correspondentes a essa análise dos livros LD1 ao LD9.

A primeira categoria diz respeito à análise do contexto epistêmico apresentado no livro (Tabela 3).

Tabela 3. Análise do contexto epistêmico das obras.

	LD1			LD2			LD3			LD4			LD5			LD6			LD7			LD8			LD9					
1. Contexto epistêmico	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V	I	T	V
1.1 Personagens	4	4	+4	0	1	-1	1	1	+1	2	1	+2	1	9	+1	2	1	+1	0	1	0	0	1	-1	1	1	+1			
1.2 Instrumentos	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	-2	0	0	-2	2	1	+2	0	0	-2	1	1	+2	1	0	0			
1.3 Objeto de estudo	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2	1	1	+2
1.4 Técnicas	1	1	+2	0	2	+1	0	1	0	0	0	-2	0	0	-2	2	1	+2	0	0	-1	1	1	+2	1	0	0			
1.5 Experimentos históricos	2	4	+6	2	2	+4	2	2	+4	2	2	+4	2	2	+4	2	2	+4	2	2	+1	2	2	+4	2	2	+4			
1.6 Fontes primárias	0	3	+3	0	0	-1	0	3	+3	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1
1.7 Fontes secundárias	0	2	+2	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	-1
1.8 Outros	0	2	+2	1	0	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	9	17	+21	5	6	+3	4	9	+10	5	4	+4	4	12	+1	9	6	+10	3	4	-2	5	6	+6	6	4	+5			
Nota parcial normalizada (N1)	10,00			2,17			5,22			2,61			1,30			5,22			0,00			3,48			3,04					

Legenda: I = imagem; T = texto; V = valoração.

Nesta categoria, foi feita a separação de imagem (I) e texto (T), verificando, assim, se a subcategoria aparece somente de uma dessas formas, nenhuma ou ambas. Como a análise é sobre as leis de Mendel, não foi atribuído ponto à menção desse personagem no texto, por se tratar de algo que obviamente deveria ocorrer. Caso um livro não trate do episódio histórico em questão e ele seja considerado imprescindível ao ensino de Ciências, ele deve automaticamente receber a nota zero, sem haver a necessidade de se preencher as tabelas, e fazer parte da normalização das notas gerais das demais obras.

Vemos que existe uma grande discrepância entre o LD1 e os demais, já que apresenta o dobro de pontos em relação ao segundo colocado (LD5 e LD6 empatados). Vale ressaltar a escassez de uso de fontes primárias, sendo encontradas em apenas dois livros (LD1 e LD4). No caso de um livro possuir fonte primária e não fazer uso de fonte secundária, caso do LD4, não deve ser descontado dele os pontos referentes à segunda categoria, pois se assume que a partir do momento em que o autor utilizou as fontes primárias, não é prejudicial à visão de ciência a ausência das secundárias.

A seguir, verificamos a inserção da história do episódio analisado correlacionada a outras esferas do conhecimento (Tabela 4).

Tabela 4. Análise do contexto não-epistêmico das obras.

	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		LD8		LD9	
2. Contexto não epistêmico	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
2.1 Científico	3	+3	7	+7	3	0	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	2	-1	0	-1
2.2 Tecnológico	0	-1	1	+1	0	-1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
2.3 Social	0	-1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
2.4 Político-econômico	1	+1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
2.5 Religioso	0	-1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Total	4	+1	11	+11	3	-4	2	-1	0	-5	0	-5	0	-5	2	-5	0	-5
Nota parcial normalizada (N2)	3,75		10,00		0,63		2,50		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	

Legenda: M = menção; V = valoração.

Notoriamente, percebe-se a falta de apresentação do contexto mais amplo ao leitor. Isto seria possível, tendo em vista que o LD8 apresenta uma contextualização em todos os aspectos. Vê-se, também, que a maioria dos livros recebe pontos positivos ao correlacionar a História da Ciência com o campo científico da época. Contudo, a maioria não faz o mesmo com outros eventos e situações de cunho não-científico, gerando a idéia de que a Ciência estaria isolada do restante do mundo e fosse independente do que esteja acontecendo neste.

Na próxima análise, vida dos personagens (Tabela 5), há um campo novo em relação às outras tabelas. Na linha com o nome da categoria vemos para cada livro um número entre parênteses que representa o número de personagens mencionados. Assim a valoração é realizada para as três primeiras subcategorias de forma diferente. Foi considerado que a partir do momento em que o autor cita uma personalidade, ele deve incluir os dados biográficos mínimos (nome completo, datas de nascimento e morte e nacionalidade). Se isso for cumprido o livro recebe (+1), caso não seja cumprido, para cada personagem, recebe (-1). Caso o autor não complete as três informações nem para o personagem que julgou central, recebe (-2) para cada uma das subcategorias (caso do LD7).

Vemos, inicialmente, que a quantidade de personagens abordada no mesmo trecho ao longo dos livros é bastante distinta, mostrando a diversidade de inter-relações que podem ser estabelecidas.

De acordo com as demais subcategorias percebemos uma maior extensão à vida profissional e pessoal do personagem considerado central pelo autor por parte dos LD1 e LD8, o que resulta numa maior nota parcial destes dois.

A seguir, foi feita uma análise das características dos personagens apontadas pelo autor (Tabela 6).

Tabela 5. Análise da vida dos personagens das obras.

	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		LD8		LD9	
	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
3. Vida dos personagens	(8)		(6)		(3)		(7)		(9)		(1)		(1)		(1)		(6)	
3.1 Nome completo	8	+1	3	-3	3	+1	7	+1	9	+1	1	+1	0	-2	1	+1	6	+1
3.2 Data de nascimento e morte	8	+1	2	-4	0	-3	5	-2	4	-5	1	+1	0	-2	0	-1	6	+1
3.3 Nacionalidade	6	-2	2	-4	0	-3	7	+1	4	-5	1	+1	0	-2	0	-1	3	-3
3.4 Dados sobre formação e atividade profissional do personagem considerado como central pelo autor	9	+9	12	+12	1	+1	3	+3	2	+2	1	+1	0	-1	0	-1	2	+2
3.5 Episódios e curiosidades da vida pessoal do personagem considerado central pelo autor	5	+5	6	+6	1	+1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Total	36	+14	25	+7	5	-3	23	+4	19	-6	4	+3	0	-8	1	-3	17	0
Nota parcial normalizada (N3)	10,00		6,82		2,27		5,45		0,91		5,00		0,00		2,27		3,64	

Legenda: M = menção; V = valoração.

Nesta busca, encontramos em cinco obras o uso da expressão “pai da Genética”, atribuída a Mendel. O emprego deste aposto traz implicitamente uma idéia que afasta o aluno da concepção de Ciência que se considera adequada, ao sugerir que Mendel foi o criador da Genética, tendo cunhado o termo e não tendo havido personagens relevantes antes de seu tempo ou mesmo contemporâneo a ele. Percebe-se, também, que somente o LD1 obtém sucesso ao tentar humanizar o personagem, citando características intelectuais e da personalidade de Mendel.

Tabela 6. Análise das características dos personagens considerados centrais pelo autor.

	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		LD8		LD9	
	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
4. Característica dos personagens considerados centrais pelo autor																		
4.1 Características pessoais, sentimento, caráter, humor, fama	3	+3	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	1	+1	1	-2	0	-1	0	-1
4.2 Características intelectuais (habilidades)	2	-1	1	-2	2	-1	1	-2	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
4.3 Aposto ou feitos extraordinários conferidos	0	+1	0	-1	3	-3	1	-1	1	-1	1	-1	0	-1	1	-1	0	-1
Total	5	+3	1	-4	5	-5	2	-4	1	-3	2	-1	1	-4	1	-3	0	-3
Nota parcial normalizada (N4)	10,00		1,25		0,00		1,25		2,50		5,00		1,25		2,50		2,50	

Legenda: M = menção; V = valoração.

Quanto à comunidade de estudiosos (Tabela 7), verifica-se que cinco obras fazem menção à interação de personagens com Mendel, sejam contemporâneos a ele ou posteriores. Nesse caso específico, não foi descontado ponto das obras que o classificam como personagem

individual, já que Mendel realmente conduziu suas experiências dessa maneira. Neste ponto, vale ressaltar que a pessoa que vier a utilizar essa ferramenta não precisa ter domínio sobre o conteúdo histórico em questão, pois, caso não soubesse dessa informação sobre o monge, teria pontuado todas as obras com valor (-1) e como estamos num estudo comparativo, não teria resultado em prejuízo à análise.

Tabela 7. Análise da comunidade de estudiosos.

	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		LD8		LD9	
	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
5. Comunidade de estudiosos	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
5.1 Personagens individuais	2	-1	1	0	1	0	1	0	2	-1	1	0	1	0	1	0	1	0
5.2 Grupos de personagens	0	0	0	-1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
5.3 Interação com personagem	4	+4	4	+4	3	+3	2	+2	2	+2	0	-1	0	-1	0	-1	4	+4
Total	6	+3	5	+3	3	+4	3	+1	4	0	1	-2	1	-2	1	-2	5	+3
Nota parcial normalizada (N5)	8,33		8,33		10,00		5,00		3,33		0,00		0,00		0,00		8,33	

Legenda: M = menção; V = valoração.

Finalmente chegamos a análise das ideias propostas por Mendel e como se dá sua abordagem (Tabela 8). Duas obras (LD2 e LD7) trabalham com a simples menção da segunda lei de Mendel, sem explicar como a idéia se desenvolveu. Vale perceber que esses dois resultam nas menores notas por, também, não trabalharem a fundamentação das duas leis, nem a aceitação delas ou mesmo aplicação nos dias de hoje.

Vale lembrar que as subcategorias 6.3 e 6.4 abrigam para o leitor um elemento histórico precioso: a existência de pessoas que pesquisaram algo semelhante e/ou pertinente antes e o fato de que a ciência como conhecemos hoje é um processo de construção do qual fazem parte períodos em que não se aceitava o que hoje é aceito pela comunidade científica.

No último quesito, o desenvolvimento da Ciência, a tabela é um pouco diferente das demais e com valoração, também distinta (Tabela 9).

Nela vê-se como a História da Ciência se desenvolveu e foram atribuídos pontos de (-4) a (-1) correspondentes, respectivamente, às subcategorias de 7.1 a 7.4. Caso alguma obra tivesse um desenvolvimento predominante da subcategoria 7.5, teria recebido valor (+1).

Assim, vê-se que há desde obras que não fazem menção a período algum (LD7) a obras que possuem a interligação de períodos de forma progressiva, denotando uma Ciência que sempre é progressiva (LD1, LD5, LD8, LD9).

A partir das notas parciais de cada categoria (N1 a N7), foi realizada média aritmética para obter uma nota geral sobre a abordagem histórica desse episódio (NG) e organizá-las segundo esse valor (Tabela 10).

Tabela 8. Análise da abordagem das ideias.

	LD1		LD2		LD3		LD4		LD5		LD6		LD7		LD8		LD9	
6. Abordagem das ideias	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V
6.1 Simples menção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1	-1	0	0
6.2 Desenvolvimento	2	+2	2	+2	2	+2	2	+2	2	+2	2	+2	1	+1	1	+1	2	+2
6.3 Fundamentação	2	+2	6	+6	2	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
6.4 Aceitação ou não na época	2	+2	2	+2	1	+1	2	+2	2	+2	0	-1	0	-1	0	-1	2	+2
6.5 Correlação com ideias posteriores e/ou atuais	3	+3	5	+5	3	0	2	+2	4	+4	3	+3	0	-1	2	+2	5	+5
6.6 Aplicação prática da ideia nos dias de hoje	1	+1	0	-1	0	0	0	-1	1	+1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Total	10	+10	15	+14	8	+3	6	+4	9	+8	5	+2	2	-4	4	-1	9	+7
Nota parcial normalizada (N6)	7,78		10,00		3,89		4,44		6,67		3,33		0,00		1,67		6,11	

Legenda: M = menção; V = valoração.

Vale notar que era de se esperar que figurassem nas quatro primeiras posições os livros que pertencem a coleções didáticas seriadas (LD1 a LD4). Porém, na terceira posição está uma obra que consiste em volume único (LD9), mostrando que é possível, mesmo com uma limitação do número de páginas, a inserção de informações históricas de forma mais adequada.

Tabela 9. Análise do desenvolvimento da Ciência

	LD1	LD2	LD3	LD4	LD5	LD6	LD7	LD8	LD9
7. Desenvolvimento da Ciência									
7.1 Ausência de menção a algum período							X		
7.2 Menção explícita a um único período						X		X	
7.3 Períodos discretos				X	X				
7.4 Linear	X	X	X						X
7.5 Histórico									
Valoração	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-3	-1
Nota parcial normalizada (N7)	10,00	10,00	10,00	6,67	6,67	3,33	0,00	3,33	10,00

Tabela 10. Nota geral de cada obra em ordem decrescente.

Obras	NG
LD1	8,55
LD2	6,94
LD9	4,80
LD3	4,57
LD4	3,99
LD6	3,13
LD5	3,05
LD8	1,89
LD7	0,18

5. CONCLUSÃO

As informações presentes nos livros didáticos irão influenciar a visão de ciências que seus leitores terão, afetando tanto professores, quanto alunos. Os livros aqui analisados mostram que, diversas vezes, deixam de contribuir para uma noção mais adequada da Natureza da Ciência (NdC). Caracterizam muitas vezes os cientistas como pessoas geniais que construíram seu trabalho individualmente e segundo uma forma crescentemente progressiva, linear, de desenvolvimento das ideias científicas. Lembre-se que um dos livros analisados sequer apresenta referências históricas básicas.

Analisando a nota geral atribuída às obras verifica-se que os livros didáticos selecionados pelo PNLEM-2007, no que tange o uso da História da Ciência, estão bastante aquém do desejado, já que apenas dois apresentam nota geral superior a cinco.

Os problemas aqui detectados permitem concluir que o processo de avaliação dos livros didáticos pelo MEC precisa ser aprimorado para encampar uma análise crítica dos conteúdos históricos. Assim, considera-se que a história da ciência deva ter um peso maior na análise do que o dado até o presente.

Por hora, esse processo fica a cargo do professor responsável pela escolha do material a ser adotado em sua escola. Vale ressaltar que esta ferramenta confere certa autonomia para que o professor do Ensino Médio possa avaliar a inserção de relatos históricos em livros didáticos, independentemente de seu conhecimento em História da Ciência em geral ou do episódio histórico particular que pretenda trabalhar. Mesmo sem ter conhecimentos históricos aprofundados sobre aspectos epistemológicos e não-epistemológicos da ciência, como conceitos e metodologias, personagens, grupos de pesquisa, relações institucionais, modos de difusão dos saberes, etc., o professor pode, com o uso da ferramenta, problematizar esses aspectos e discuti-los com seus

alunos. Paralelamente, a familiaridade com o instrumento pode ser de grande auxílio na análise e escolha de material adequado para seus alunos.

Outro determinante a se pensar diz respeito à subjetividade do recorte feito pelo autor ao decidir o que colocaria ou deixaria de lado ao escrever o livro. Assim, embora, não seja possível o professor de ensino médio fazer esse tipo de análise para diversos episódios históricos, é possível que ele utilize a ferramenta apresentada neste trabalho para verificar o efeito provocado na visão dos alunos acerca da Natureza da Ciência e construção do conhecimento científico, tal qual encontrado em Lederman (2007) e McCommas (1998).

Mesmo tendo analisado somente um episódio histórico de cada obra, acredita-se que esta pesquisa contribui para indicar caminhos possíveis para o aprimoramento histórico dos livros didáticos para o ensino médio de biologia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor Charbel El-Hani da Universidade Federal da Bahia (UFBA) pela disponibilização à consulta dos livros didáticos aprovados pelo PNLEM-2007.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino médio*. Brasília: MEC/Semtec, 1999.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Linguagens, códigos e suas tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação. *Livro didático: PNLD e PNLEM*. Brasília: Mec. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/index.php/pnld-pnld-e-pnlem>>. Acesso em: 01 jul. 2010.
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundo Nacional do Desenvolvimento da Educação. *Programa nacional do livro didático para o ensino médio – PNLEM*. Brasília: Mec. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/index.php?id=13608&option=com_content&view=article>. Acesso em 01 jul. 2010.
- EL-HANI, Charbel; ROQUE, Nadia; ROCHA, Pedro L. B. da. Brazilian High School Biology Textbooks: results from a National Program. *In: IOSTE INTERNATIONAL MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOKS*, jun., 2007, Tunis. *Proceedings...* Tunis: University of Tunis, 2007. Pp. 505-516.
- EL-HANI, Charbel Niño; ROQUE, Nádia; VANZELA, André Luis Laforga; SOUZA, Ângela Freire Lima; MARQUES, Antonio Carlos; VIANA, Blandina Felipe; KAWASAKI, Clarice Sumi; LEME, Cláudia Luizon Dias; FARIA, Deborah; MEYER, Diogo; OMENA, Elianne; OLIVEIRA, Elisabeth Spinelli de; ASSIS, José Geraldo de Aquino; FREGONEZE, Josmara; QUEIROZ, Luciano Paganucci de; CARVALHO, Luiz Marcelo de; NAPOLI, Marcelo; CARDOSO, Márcio Zikán; SILVEIRA, Nusa de Almeida; HORTA, Paulo Antunes; SANO, Paulo Takeo; ZUCOLOTO, Rodrigo Barban; TIDON, Rosana; SILVA, Sueli Almuiña Holmer da; ROSA, Vivian Leyser da; ROCHA, Pedro Luís Bernardo da. Brazilian high school biology textbooks: main conceptual problems in genetics and cell & molecular biology. *In: IOSTE INTERNATIONAL*

- MEETING ON CRITICAL ANALYSIS OF SCHOOL SCIENCE TEXTBOOKS, jun., 2007, Tunis. *Proceedings...* Tunis: University of Tunis, 2007. Pp.494-504.
- FINI, Maria Inês (coord.). *Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Biologia*. São Paulo: Secretaria de Estado de Educação, 2008.
- LEDERMAN, Norman G.; ABELL, Sandra K. Nature of Science: Past, Present, and Future. Pp. 831-879, in: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2007.
- LEITE, Laurinda. History of Science in Science education: development and validation of a checklist for analyzing the historical content of science textbooks. *Science and Education* **11** (2): 333-359, 2002.
- LEWIS, J.; WOODROBINSON, C. Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship? *International Journal of Science Education* **22**: 177-195, 2000.
- LONGDEN, Bernard. Genetics: are there inherent learning difficulties? *Journal of Biological Education* **16** (2): 135-140, 1982.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. *Boletim da SBHC* **9**: 3-5, 1990.
- MATTHEWS, Michael R. *Science Teaching – The role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- MCCOMAS, William F.; ALMAZROA, Hiya, & CLOUGH, Michael P. The nature of science in science education: Na introduction. *Science & Education* **7**: 511-532, 1998.
- MEGID NETO, Jorge; FRACALANZA, Hilário. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação* **9** (2): 147-157, 2003.
- MORTIMER, Eduardo F. A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em aberto* **7** (40): 24-41, 1988.
- TSUI, Chi-Yan; TREAGUST, David. Learning genetics with computer dragons. *Journal of Biological Education* **37** (2) 96-98, 2003.
- VIDAL, Paulo Henrique O. *A História da Ciência nos livros didáticos de química do PNLEM-2007*. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

ANÁLISE DA GENÉTICA CLÁSSICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO SUPERIOR E IMPLICAÇÕES PARA A FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS NATURAIS

Gilberto Oliveira Brandão*
Louise Brandes Moura Ferreirat

Resumo: *O presente trabalho apresenta os resultados de uma análise de livros-texto de Genética do nível superior usados na formação de professores de Ciências Naturais sob o ponto de vista histórico. Buscou-se avaliar como Gregor Mendel (1822-1884) é apresentado ao leitor e a importância de sua contribuição para a Genética. Nos livros analisados a pesquisa de Mendel é mostrada de maneira descontextualizada histórica e culturalmente, não havendo menção ao ambiente científico do século XIX nem aos experimentos de hibridização já realizados por botânicos tais como Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806) e Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850), citados pelo próprio Mendel em seu texto, induzindo o aluno à falácia de que a descoberta científica é privilégio de poucos gênios iluminados. Além da falta de contextualização histórica, os livros usam conceitos tais como fenótipo, genótipo, alelo e o diagrama de Punnett de forma anacrônica. Na segunda parte do texto há uma discussão sobre as implicações de uma abordagem descontextualizada da pesquisa de Mendel sob o ponto de vista de uma aprendizagem que possibilite a compreensão de conceitos-chave acerca da natureza da ciência por meio da Genética Clássica. Faz parte de tal entendimento a compreensão de que a Ciência é uma atividade humana indissociável do seu contexto social e cultural e que a elaboração das perguntas, o desenho metodológico de uma investigação e a interpretação dos dados obtidos são em parte influenciados pelo estado da arte do conhecimento científico no qual o pesquisador se insere e em parte por sua contribuição única. Implicações de um ensino que inclua elementos de História e Filosofia da Ciência na formação dos licenciandos em Ciências Naturais são discutidas.*

Palavras-chave: *Ensino de Biologia; História da Biologia; Formação de Professores em Ciências Naturais; Análise de Livro Didático; Mendel, Gregor*

AN ANALYSIS OF COLLEGE GENETICS TEXTBOOKS AND RELATED IMPLICATIONS FOR PRESERVICE SCIENCE TEACHER EDUCATION

*Centro Universitário UNICEUB, EQN 707/907, Asa Norte, Brasília, DF, 70310-500, profgilbertobrandao@gmail.com

† Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina, Área Universitária No. 1, Vila Nossa Senhora de Fátima, Planaltina, Brasília, DF, 733000-000, louise@unb.br

Abstract: *This paper presents the findings of a historical analysis of university level genetics textbooks used in the preparation of preservice science teachers. We aimed to evaluate how Gregor Mendel (1822-1884) is introduced to the reader as well as the significance of his investigation to genetics. On the textbooks analyzed, the accounts of Mendel's research lack historical and cultural context. There is neither mention to the scientific community of the XIX century, nor to the hybridization experiments carried out by botanists such as Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806) and Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850), cited by Mendel himself on his paper, which can induce the students to the fallacy that scientific discovery is a privilege of a few illuminated geniuses. In addition due to lack of historical contextualization, the textbooks introduce concepts such as phenotype, genotype, allele, and the Punnett square in an anachronistic way. On the second half of the paper, we discuss the implications of such non-contextualized interpretation of Mendel's research from the point of view of nature of science. Science is a human activity that is not dissociated from its social and cultural context, and that the posing of questions, the designing of investigation methods, and the interpreting of data are partly influenced by the state of the art of scientific knowledge in which a scientist carries out his/her research and partly influenced by his/her own contribution. Implications for a preservice science teacher education that incorporates history and philosophy of science are discussed.*

Key-words: *Biology Teaching; History of Biology; Science Teacher Education; Textbook Analyses; Mendel, Gregor*

1. INTRODUÇÃO

Os conceitos e a linguagem da Genética Clássica se desenvolveram a partir do trabalho de Gregor Mendel (1822-1884) em seu artigo “Experimentos em hibridização de plantas”, publicado em 1866, (Mendel, 1866), bem como da apresentação da pesquisa de Mendel à comunidade científica do início do século XX por William Bateson (1861-1926) (Bateson, 1902). Bateson considerou de fundamental importância a presença dos elementos inobserváveis que ele chamou de caracteres unitários e utilizou o método de experimentação e análise de Mendel para uma variedade de novas espécies, mas considerou importante todas as exceções encontradas, assumindo a existência dos princípios gerais presentes no trabalho de Mendel. Além disso, utilizou novos termos como: caráter ou fator, homozigoto, heterozigoto, alelomorfos e alterou os símbolos mendelianos de representação dos organismos puros (AA e aa) (Martins, 2002, ver também Olby, 1987). A célebre pesquisa de Mendel estudada tanto por licenciandos de Ciências Naturais, quanto pela comunidade dos historiadores da Ciência, evoca percepções diferentes nos membros desses dois grupos. A recordação de Mendel que grande parte dos licenciandos traz das lições de Biologia no nível médio é a do gênio isolado que trabalhou com ervilhas e fez cruzamentos entre variedades de sementes lisas e rugosas, plantas com flores brancas e púrpuras, entre outras características. Outros alunos são capazes de lembrar-se de conceitos tais como genótipo, fenótipo, alelo, e do quadrado de Punnett, desenvolvido por Reginald Crundall Punnett (1875-1967). Muitos podem ainda lamentar que o trabalho de Mendel tenha sido publicado num obscuro periódico científico e que, para o “atraso da Ciência”, tenha ficado esquecido por mais de 30 anos.

O panorama da Genética Clássica e da contribuição de Mendel para os historiadores da

Ciência, entretanto, é visto de forma bastante diferente. Mesmo que suas interpretações variem, fatos da cronologia não são postos em questão: Mendel trabalhou com ervilhas, em especial, a *Pisum sativum*, que foi seu organismo experimental, mas ele não foi um gênio isolado, não descobriu nem propôs os conceitos de genótipo, fenótipo e alelo e nem desenvolveu o método de combinações alélicas em cruzamentos planejados que ficou conhecido como quadrado de Punnett. Mendel estava inserido em uma tradição de pesquisa dos hibridadores de seu tempo, preocupados com as questões da formação de novas variedades de plantas e raças de animais por hibridização e que buscavam compreender como do cruzamento dos híbridos podiam surgir formas puras para determinadas características. Além do diagrama de Punnett, os conceitos de fenótipo, genótipo e alelo, foram todos propostos posteriormente ao ano de 1900, no período chamado de “redescoberta de Mendel.” Quanto à obscuridade da publicação de Mendel, sabe-se que ela foi lida por importantes botânicos em seu tempo (Olby & Gautery, 1968).

A questão que se coloca é: como conciliar o conhecimento das duas comunidades? Segundo Seixas (1993) uma das principais tarefas de aproximação da comunidade científica com a comunidade escolar é proporcionar os meios para que os estudantes de qualquer nível tenham acesso aos conhecimentos científicos atualizados. Como membros de associações científicas na área da História da Ciência, pretendemos começar por uma análise de uma das ferramentas mais usadas no ensino da Genética Clássica no nível superior: o livro didático. Gostaríamos de ressaltar que nossa crítica não desconsidera os esforços dos autores e é nossa intenção contribuir para as futuras revisões dos textos.

2. LIVROS-TEXTO DE GENÉTICA DO NÍVEL SUPERIOR: COMO A HISTÓRIA DA GENÉTICA É NARRADA?

Este trabalho tem por objetivo uma análise de livros-texto de Genética no nível superior. Escolhemos recentes edições de quatro livros didáticos (Griffiths & Miller & Suzuki & Lewontin & Gelbart, 2009; Pierce, 2004; Savada & Heller & Orians & Purves & Hillis, 2009b; Snustad & Simmons, 2008) usados para ensinar Genética na graduação. Nosso critério de seleção foi o fato de que tais livros são amplamente utilizados em disciplinas como Genética Básica e Genética e Evolução presentes nos cursos de formação de professores em Ciências Naturais. Ressaltamos que esses livros são traduções para o português de obras de autores estadunidenses (Griffiths & Miller & Suzuki & Lewontin & Gelbart, 2008; Pierce, 2003; Savada & Heller & Orians & Purves & Hillis, 2009a; Snustad & Simmons, 2006) e que esses originais foram cotejados para que nossa análise fosse acurada.

Utilizamos as seguintes questões como critérios para a análise dos livros didáticos: 1) Como a História da Genética e o papel de Mendel em seu desenvolvimento são mostrados aos alunos? 2) Como expressões, conceitos e modelos são apresentados? 3) Como as fontes originais são usadas nos livros didáticos? A seguir descrevemos nossos resultados.

2.1 Mendel “Pai da Genética”

Nos livros didáticos analisados a História da Genética é sempre apresentada no início dos capítulos como forma de introduzir a figura de Gregor Mendel, considerado como sendo o

agente principal do conhecimento sobre Genética. Seu artigo “Experimentos em hibridização de plantas” (Mendel, 2008) é tido como marco inicial da disciplina. Por exemplo, um dos livros-texto afirma: “Embora a genética tenha se desenvolvido durante o século XX sua origem está baseada no trabalho de Gregor Mendel, um monge austríaco que viveu no século dezanove (Snustad & Simmons, 2008, p. 2). Outro livro (Griffiths *et al.*, 2009, p. 2) assinala:

A ciência da Genética **começou** com o trabalho do monge austríaco Gregor Mendel, que publicou o resultado de seus experimentos em cruzamentos entre linhagens que haviam herdado variações em ervilhas em 1865 (sem ênfase no original).

O nome de Gregor Mendel aparece ainda associado às alcunhas de “o fundador da Genética” e “pai da Genética”. Essas expressões fazem parecer que Mendel foi o único a pensar naquilo que seria as bases da hereditariedade no século XX. Os textos não citam predecessores de Mendel como Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806) e Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850), os quais foram importantes para que Mendel pudesse desenvolver sua pesquisa (Darden, 1991; Olby, 1985). Essa é uma característica significativa do conhecimento científico dado que ele se desenvolve gradualmente a partir do trabalho de diversos cientistas que propõe seus modelos explicativos em volta de determinada questão. Dessa maneira, forma-se uma comunidade de investigação científica ou rede social em torno de determinados programas de pesquisas.

Os experimentos de Mendel fazem parte de uma sequência de investigações sobre o desenvolvimento e evolução dos híbridos e seus descendentes. Mendel buscava uma lei aplicável da formação e desenvolvimento dos híbridos (Orel, 2009). Kölreuter já havia mostrado que muitos híbridos quando geravam descendentes produziam os tipos parentais originais em sua prole, ou seja, nos descendentes dos híbridos havia formas puras (Olby, 1985). No século XIX havia interesse tanto dos membros de sociedades científicas quanto dos membros de sociedades de criadores e agricultores em entender sobre o que ocorria com os híbridos e seus descendentes para tentar controlar e manter estável uma nova variedade surgida. Assim, se uma nova variedade de flor ornamental aparecia era interessante entender como ela podia ser reproduzida com estabilidade. Também havia a questão acadêmica de se compreender sobre os mecanismos evolutivos e como as variações surgiam e se estabeleciam novas espécies (Hartl & Orel, 1992).

Os experimentos de Mendel não são novidade por si, já que outros trabalhos de cientistas do período utilizaram a abordagem experimental conhecida. O trabalho de Mendel deve ser ressaltado como importante por dois motivos: primeiro ele observou a evidência da segregação e que as razões entre organismos dominantes e recessivos apareciam tanto nos cruzamentos monófridos quanto nos cruzamentos diíbridos. Em segundo lugar ele explicou as razões encontradas como sendo resultado da segregação nas células reprodutivas (pólen e óvulo) e da dominância de certas características sobre outras (Brannigan, 1979). A novidade no trabalho de Mendel foi contar as plantas que apareciam com a característica dominante e aquelas que apareciam com a característica recessiva. Essa contagem possibilitou a elaboração de um padrão e de uma forma de expressão algébrica que estabelecesse uma relação entre as quantidades presentes das formas dominantes e das formas recessivas. A expressão $A + 2Aa + a$ estabelece uma relação entre as características dominante e recessiva: existem as mesmas quantidades entre as duas formas puras (A e a), mas ocorre o dobro dos

híbridos na autofecundação de um híbrido (2Aa) (Mendel, 1866). Assim, é possível estabelecer que se um agricultor autofecunda um híbrido deve esperar o aparecimento de metade de formas puras, um quarto dominantes e um quarto recessivas. O conhecimento obtido pelo trabalho de Mendel poderia assim ter uma aplicação prática. A pesquisa anterior a Mendel foi importante para que ele tentasse a mesma abordagem, mas sobre outro ângulo. Nesse sentido, o modelo algébrico e estatístico é original de seus experimentos e constitui uma importante contribuição para a compreensão sobre a herança dos híbridos.

2.2 Confusão entre expressões e conceitos dos séculos XIX e XX

Uma característica comum a todos os livros didáticos analisados é a confusão entre expressões e conceitos dos séculos XIX e XX. Ou seja, existe uma utilização de termos e modelos de épocas diferentes causando a sensação de que aquele conjunto de conhecimentos apareceu pronto na mente de um único cientista exatamente da forma e com a terminologia que são utilizadas atualmente. Não somente os antecessores de Mendel são ignorados, como também seus sucessores. Os trechos a seguir ilustram a confusão entre conceitos mendelianos e conceitos da redescoberta: **“A primeira análise de herança monogênica como uma via para a descoberta do gene foi feita por Gregor Mendel”** (Griffiths *et al.*, 2009, p. 30, sem ênfase no original), **“Mendel propôs que as plantas de ervilha levavam duas cópias de cada gene”** (Snustad & Simmons, 2008, p. 44, sem ênfase no original) e **“o princípio da segregação (primeira lei de Mendel) diz que os organismos diplóides possuem dois alelos para qualquer característica em particular”** (Pierce, 2004, p. 49, sem ênfase no original).

Em seu texto “Experimentos em hibridação de plantas” (Mendel, 2008), Mendel iniciou seus estudos considerando uma característica por vez e analisou sete delas. Não havia nenhuma condição de seus experimentos terem envolvido a descoberta de genes, pois na época de Mendel as pesquisas focavam no organismo e não nos genes. O conceito herança “monogênica” contrapõe-se ao de herança “poligênica” que envolve um número variável de genes envolvidos na determinação de uma característica específica. É um termo do século XX aplicado ao conhecimento do século XIX. Um texto que trata do desenvolvimento da pesquisa de Mendel não pode utilizar o termo monogênico sem falar sobre genes e alelos e, os modelos explicativos dos livros de Genética apresentam alelos, conceito impensável no século XIX. Neste século não se estudava a herança de forma isolada, uma vez que não se concebia estudar os mecanismos de transmissão das características separados do desenvolvimento e evolução dos organismos. A transmissão das características hereditárias da geração parental para os descendentes era considerada parte do mesmo processo que o desenvolvimento das características nos descendentes. A hereditariedade era apenas um momento no desenvolvimento sem necessidade de haver uma abordagem conceitual separada (Hartl & Orel, 1992). Mendel não tinha o conceito de pares de fatores ou elementos determinando seus pares de características, portanto, não existe equivalência entre as partículas hereditárias e os alelos da genética clássica (Olby 1985). O conhecimento do século XIX firmou a base conceitual para o avanço da Genética no século XX. Recomenda-se ao professor a utilização da linguagem e conceitos conhecidos por Mendel, e que explique seus experimentos e depois estabeleça uma ligação com a Genética do século XX (Brandão & Ferreira, 2009).

A utilização da linguagem e representações do século XX para apresentar o trabalho de Mendel no século XIX é um erro presente em todos os livros didáticos analisados. Talvez seja uma forma de supostamente facilitar a compreensão da Genética, mas essa razão didática não se sustenta, pois é possível utilizar apenas os termos que Mendel elaborou e tornar a Genética compreensível. Quando se “misturam” conceitos do século XX com conceitos do século XIX a tendência é que o estudante perca a sequência histórica daqueles conceitos. Um exemplo clássico é a própria expressão $A + 2Aa + a$ (como visto acima) que está presente no trabalho de Mendel, expressão essa diferente quando se pensa em termos de alelos. A expressão original se refere aos organismos e não aos genes. Existiam três tipos de organismos: puros dominantes, puros recessivos e híbridos. Quando a mesma expressão é revisitada com o conhecimento sobre genes e alelos ela pode se tornar $AA + 2Aa + aa$ porque está representando a proporção dos alelos e não dos organismos. Para o aluno que está iniciando o estudo da Genética torna-se importante ter em mente que no século XIX o estudo da hereditariedade centrava-se no organismo e só depois no início do século XX o estudo passou a se centrar nos genes e cromossomos. O que deve ser mais importante uma suposta facilitação da aprendizagem ou a contextualização histórica dos períodos estudados (séculos XIX e XX)? Consideramos que é possível se contextualizar a Genética dos dois séculos e ser didático para que os alunos entendam e possam aplicar a Genética na solução de problemas.

2.3 Apresentação equivocada da sequência da pesquisa de Mendel

Dois dos textos estudados (Griffiths *et al.*, 2008; Pierce, 2004) realizam um procedimento que pretende ser uma tentativa de explicar melhor o primeiro princípio de Mendel: eles dividem os experimentos de Mendel em duas partes. Inicialmente, trabalham os aspectos da primeira “lei”[‡] de Mendel ou princípio da segregação e depois trata a segunda “lei” de Mendel ou princípio da distribuição independente. Entre os dois princípios os livros didáticos tratam de temas tão diversos como meiose, cromossomos sexuais, dominância incompleta ou heredogramas. Entende-se que o professor possa optar por essa distribuição de conteúdo, mas essa abordagem é historicamente errada, pois Mendel analisou inicialmente uma característica e depois duas simultaneamente e elaborou seus princípios no mesmo trabalho. Provavelmente os resultados encontrados para duas características analisadas ao mesmo tempo confirmou o padrão encontrado para uma característica. O princípio da distribuição independente abarca e reforça o princípio da segregação.

Em cursos de formação de professores de Ciências é importante conduzir o estudo de Mendel do início ao fim, sem interrupções, pois como já esclarecido os contextos dos séculos XIX e XX são muito diferentes. Novamente, quando se considera oportuno trabalhar o tema de cromossomos sexuais porque um aluno utilizaria a primeira lei de Mendel perde-se a sequência histórica e para o aluno torna-se impossível entender porque o trabalho de Mendel teve pouca repercussão, já que seus princípios podem ser facilmente aplicados. Não temos certeza das razões explicativas para a baixa aceitação do trabalho de Mendel, mas quando ele é estudado de forma contextualizada pode-se entender o arcabouço conceitual do século XIX e, professor e alunos, podem raciocinar sobre a

[‡] É importante ressaltar que Mendel foi cuidadoso ao não generalizar as leis da *Pisum sativum* para outros cruzamentos de híbridos vegetais (Mendel, 1866/1995).

transição da Genética do século XIX para o século XX.

Os conteúdos históricos não são trabalhados de modo adequado nos livros didáticos, seja pela questão da confusão entre conceitos e terminologia dos períodos históricos do século XIX e do século XX, seja pela divisão didática do trabalho de Mendel. O ideal seria que o professor utilizasse apenas a linguagem do trabalho de Mendel e que esse fosse estudado de forma contínua, ou seja, os dois princípios da segregação e da distribuição independente seriam trabalhados em conjunto. A menção histórica apresentada é, em geral, superficial e totalmente direcionada à figura de Gregor Mendel desconsiderando a importância dos antecessores em estabelecer as bases conceituais e metodológicas do trabalho de Mendel e dos sucessores já que não credita corretamente a criação de conceitos e modelos associados erroneamente à Mendel. Quando existe menção histórica, esta aparece como curiosidade e não é problematizada como se espera. Desse modo, a ciência parece mais como efeito do acaso e genialidade individuais e não um esforço conjunto de um grupo de pesquisadores. Mendel é visto como sendo o fundador da Genética pela originalidade e aplicação de seus experimentos. Ora, os experimentos de hibridização de plantas já ocorriam há muito tempo e Mendel pode ser inserido nessa tradição. Ao mesmo tempo o trabalho de Mendel é suficientemente original para que ele seja considerado um pioneiro da ciência Genética, mas é importante mostrar que seu trabalho não foi isolado e que houve outras contribuições antes e depois dele no período da genética clássica (Martins, 1997). O livro didático traz apenas certezas sobre o conhecimento científico e praticamente não há espaço para a dúvida. A formação do pensar científico fica comprometida ao se ensinar apenas as concepções que são aceitas atualmente, já que o aluno aprende a valorizar o certo e desprezar o erro, o qual pode ser fonte de novos acertos.

3. LIVROS-TEXTO, HISTÓRIA DA CIÊNCIA E FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS NATURAIS

Os cursos de formação de professores podem se beneficiar muito do estudo da história e da filosofia da ciência (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Nesses cursos, tão importante quanto se ensinar os conteúdos curriculares deve ser o ensino das bases conceituais e metodológicas do conhecimento. Valoriza-se o processo de investigação científica e não apenas os resultados obtidos. Ocorre que a Ciência é uma atividade humana indissociável do seu contexto social e cultural, ou seja, todo pesquisador está inserido em um contexto que deve ser explicitado aos alunos. Assim, a elaboração das perguntas, o desenho metodológico de uma investigação e a interpretação dos dados obtidos são, em parte, influenciados pelo estado da arte do conhecimento científico no qual o pesquisador se insere e em parte por sua contribuição única. Membros de associações científicas devem tornar os textos históricos acessíveis, pois os textos históricos fundamentais de cada área do conhecimento devem ser contextualizados e corrigidos e, os professores devem questionar e corrigir também as informações dos livros didáticos. É certo que o trabalho de Mendel trouxe uma contribuição importante para a Genética, mas todo o esforço dos pesquisadores do século XIX e principalmente do século XX fortaleceu e trouxe novos desdobramentos em relação às concepções e os experimentos de Mendel. Ele estava inserido em um momento histórico e

cultural que certamente influenciou na condução de seus experimentos. Um professor, especialmente aquele de ciências, precisa entender o fazer científico e o exemplo de Mendel é excelente para mostrar isso ao professor em formação. A diferença entre o arcabouço conceitual entre os séculos XIX e XX pode ter retardado a percepção da importância do trabalho de Mendel e esse fato pode gerar no aluno a compreensão de como o conhecimento científico é construído.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos revisores anônimos pelas valiosas sugestões para o aprimoramento deste texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education* **22** (7): 665-701, 2000.
- BATESON, William. *Mendel's principles of heredity: A defence*. Disponível em: <<http://www.esp.org/books/bateson/mendel/facsimile/>>. Acesso em: 8 nov 2009.
- BRANDÃO, Gilberto O.; FERREIRA, Louise B. M. O ensino de genética no nível médio: a importância da contextualização histórica dos experimentos de Mendel para o raciocínio sobre os mecanismos da hereditariedade. *Filosofia e História da Biologia* **4**: 43-63, 2009.
- BRANNIGAN, Augustine. The reification of Mendel. *Social Studies of Science* **9** (4): 423-454, 1979.
- DARDEN, Lindley. *Theory change in science: strategies from Mendelian genetics*. North Carolina: Oxford University Press, 1991.
- GRIFFITHS, Anthony J.F.; MILLER, Jeffrey H.; SUZUKI, David T.; LEWONTIN, Richard C.; GELBART, William M. *An introduction to genetic analysis*. 9. ed. New York: W.H. Freeman and Company, 2008.
- GRIFFITHS, Anthony J.F.; MILLER, Jeffrey H.; SUZUKI, David T.; LEWONTIN, Richard C.; GELBART, William M. *Introdução à genética*. Trad. Paulo Armando Motta. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.
- HARTL, Daniel L.; OREL, Vitezslav. What did Gregor Mendel Think He Discovered? *Genetics* **131**: 245-253, 1992.
- MARTINS, Lilian Al-Chueyr Pereira. *A teoria cromossômica da herança: proposta, fundamentação, crítica e aceitação*. Campinas, 1997. Tese de doutoramento (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.
- . Bateson e o programa de pesquisa mendeliano. *Episteme* **14**: 27-55, 2002.
- MENDEL, Gregor. Experiências sobre híbridos vegetais. Trad. Newton Freire-Maia. pp 53-96. in: FREIRE MAIA, Newton. (ed.). *Gregor Mendel: vida e obra*. São Paulo: T. A. Queiroz Editor, 1866, 1995.
- OLBY, Robert. *Origins of Mendelism*. 2. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1985.
- . William Bateson's introduction of Mendelism to England: a reassessment. *British Journal of History of Science* **20**: 399-420, 1987.

- OLBY, Robert; GAUTREY, Peter. Eleven references to Mendel before 1900. *Annals of Science* **24**: 7-20, 1968.
- OREL, Vitezlav. The “useful questions of heredity” before Mendel. *Journal of Heredity* **100** (4): 421-423, 2009.
- PIERCE, Benjamin A. *Genetics: A conceptual approach*. New York: W.H. Freeman and Company, 2003.
- PIERCE, Benjamin A. *Genética: Um enfoque conceitual*. Trad. Paulo Armando Motta. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- SADAVA, David; HELLER, Craig; ORIAN, Gordon H.; PURVES, William K.; HILLIS, David M. *Life: The science of biology: The cell and heredity*. 8. ed. Massachusetts: Sinauer Associates/W.H. Freeman and Company, 2009 (a). 1 Vol.
- SADAVA, David; HELLER, Craig; ORIAN, Gordon H.; PURVES, William K.; HILLIS, David M. *Vida: a ciência da biologia: célula e hereditariedade*. Trad. Anapaula Somer. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009 (b). 1 Vol.
- SEIXAS, Peter. The community of inquiry as a basis for knowledge and learning: The case of history. *American Educational Research Journal* **30** (2): 305-324, 1993.
- SNUSTAD, Peter; SIMMONS, Michael J. *Principles of genetics*. 4. ed. New Jersey: Wiley, John & Sons, 2006.
- SNUSTAD, Peter; SIMMONS, Michael J. *Fundamentos de genética*. Trad. Paulo Armando Motta. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

DO FAZER AO PENSAR QUIMICAMENTE: A QUÍMICA E SEU ENSINO ATRAVÉS DE LIVROS DIDÁTICOS DO SÉCULO XX

Karina Aparecida de Freitas Dias de Souza *

Paulo Alves Porto **

Resumo: Assumindo que os livros didáticos dão expressão literária aos valores culturais e ideológicos de uma nação ou grupo, propôs-se a análise iconográfica e textual de 29 obras, destinadas ao ensino de química geral, cuja difusão foi importante no contexto universitário brasileiro durante o século XX. Como resultado da avaliação iconográfica, nove categorias de análise foram propostas: (1) Laboratório e experimentação; (2) Indústria e meios produtivos; (3) Gráficos e diagramas; (4) Cotidiano; (5) Modelos; (6) História da ciência; (7) Amostras de origem animal, vegetal ou mineral; (8) Analogias; (9) Conceitos de física. Foram observadas diferentes tendências para a apresentação do conteúdo químico, resultantes do compromisso com diferentes concepções acerca da própria ciência química ao longo do período. Assim, da química como ciência essencialmente experimental (início do século XX), passou-se à ciência do invisível (ênfase nos princípios, observada a partir dos anos 1950), chegando-se a uma ciência de interfaces e de inegável influência tecnológica. Tais observações sugerem que não só a história das ciências, mas a própria história de seu ensino constitui ponto a ser explorado na incessante busca por melhorias na educação científica.

Palavras-chave: história da química; livros didáticos; química geral

FROM DOING TO CHEMICAL THINKING: CHEMISTRY AND ITS TEACHING THROUGH TWENTIETH-CENTURY TEXTBOOKS

Abstract: Assuming that textbooks give literary expression to cultural and ideological values of a nation or group, it was proposed the iconographic and textual analysis of 29 textbooks present in the context of the Brazilian universities during the twentieth century. As a result of iconographic assessment, nine categories of analysis were proposed: (1) Laboratory and experimentation, (2) Industry and production, (3) Graphs and diagrams (4) Daily life, (5) Models, (6) Illustration referring the History of Science (7) Animal, vegetable or mineral

* Docente do Instituto Federal de São Paulo – Salto, e estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade de São Paulo. Rua Rio Branco, 1780 - Vila Teixeira - 13320-271 – Salto, SP, Brasil. karina_souza@ifsp.edu.br

** Docente do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Avenida Professor Lineu Prestes, 748, Bloco 07 superior, Sala 0761 - Butantã - 05508-000 - São Paulo, SP, Brasil. palporto@iq.usp.br

samples, (8) Analogies and (9) Concepts of physics. The results showed different emphasis in the presentation of chemical content, resulting from the commitment with different conceptions of chemistry over the period. Starting with chemistry as an experimental science (early twentieths), the conception changed to the science of the invisible (emphasis on principles, observed from the fifties), and reached at a science of interfaces and of undeniable technological influence. These observations suggest that not only the history of science, but the history of science education is a point to be explored in the search for improvements in science classrooms.

Key-words: *history of chemistry; textbooks; general chemistry*

1. INTRODUÇÃO

Contra-pondo-se à idéia de uma ciência internacional decorrente dos avanços nas técnicas de comunicação e transporte, a existência de diferenças regionais e nacionais no *estilo* de pensamento e trabalho científico já foi bastante defendida por alguns historiadores da ciência, que, lançando mão do significado assumido para *estilo* nas artes e literatura, concentram-se em padrões recorrentes de ação, desenvolvimento ideológico ou contexto social dos empreendimentos científicos (Harwood, 1987; Reingold, 1991; Nye, 1993; Fangerau & Müller, 2005). Afastando-se da idéia de *estereótipos*, um estilo nacional pode ser definido como características persistentes de uma nação ou cultura específica que afetem suas ações frente ao conhecimento, desenvolvimento da pesquisa científica ou natureza organizacional e social dos cenários científicos (Reingold, 1991). Dentre os aspectos da construção do conhecimento científico que podem evidenciar a existência de estilos nacionais, Ash (1984 *apud* Fangerau & Müller, 2005) destaca a ênfase em determinadas disciplinas científicas, o foco em conteúdos específicos, as variações metodológicas e as diferenças institucionais (Ash *apud* Fangerau & Müller, 2005).

No caso específico da ciência química, o trabalho de Nye (1993), por exemplo, trata de dicotomias existentes entre o desenvolvimento da Química na França e Inglaterra do século XIX e início do XX.

Considerando possível identificar diferentes formas de se pensar e praticar ciência, os livros, enquanto apresentadores do “consenso disciplinar” de uma área em determinado período, podem constituir importante ferramenta nesse empreendimento. Concordando com Hallewell (2005),

(...) é difícil imaginar uma atividade que envolva tantos aspectos da vida nacional quanto a publicação de livros. O livro existe para dar expressão literária aos valores culturais e ideológicos. Seu aspecto gráfico é o encontro da estética com a tecnologia disponível. Sua produção requer a disponibilidade de certos produtos industriais (...) Sua venda constitui um processo comercial condicionado por fatores geográficos, econômicos, educacionais, sociais e políticos. E o todo proporciona uma excelente medida do grau de dependência ou independência do país, tanto do ponto de vista espiritual como do material. (Hallewell, 2005, pp. 42-43)

Se estendida a discussão especificamente para o caso dos livros didáticos, de ensino básico ao superior, esses, sendo tradutores de valores e comportamentos que se desejou serem

ensinados (Corrêa, 2000), podem fornecer orientações importantes não só sobre tendências na construção e divulgação do conhecimento científico, mas também de tendências referentes à forma de ensino desses conhecimentos, tema de especial interesse aos pesquisadores da área de educação em ciências.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é identificar, a partir da análise iconográfica e textual de livros didáticos destinados ao ensino universitário de Química, especificamente no contexto da disciplina de Química Geral, tendências para o ensino dessa disciplina durante o século XX, com especial atenção para as influências sofridas no panorama brasileiro.

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

2.1 Seleção e caracterização das obras analisadas

Considerando o grande número de obras publicadas, optou-se pela seleção das que apresentassem indícios de utilização no contexto universitário do período. Segundo Choppin (2007), quatro critérios são fundamentais na avaliação da difusão de uma obra didática: sua vida editorial; o número de edições anunciado; a presença em bibliotecas; e a disponibilidade em sebos. Nesse contexto, foram considerados para análise os LDs encontrados, simultaneamente, nas bibliotecas das diferentes unidades da Universidade de São Paulo e Universidade Federal do Rio de Janeiro (pioneiras na educação em Química no país) e em sebos existentes por todo o território brasileiro¹, totalizando um conjunto de 29 obras, apresentadas no Quadro 1.

2.2 Análise textual e iconográfica das obras

Foram considerados os aspectos (i) *iconográfico*, sendo analisadas e categorizadas todas as ilustrações presentes na obra, e (ii) *textual*, na figura dos textos de apresentação da obra, de especial interesse, uma vez que é através dele que o autor evidencia objetivos e estratégias adotadas. Dada a contínua interrelação entre texto e imagem, a leitura de trechos específicos da obra foi imprescindível para a compreensão do objetivo da ilustração analisada.

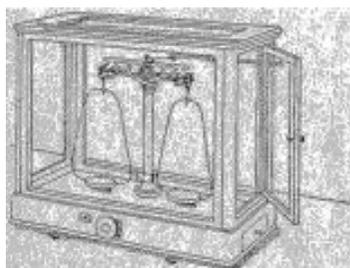
As imagens foram categorizadas, nesse primeiro momento, de forma independente do capítulo ou tema a que se referiam, visando unicamente uma análise exploratória. Não constituiu escopo desse trabalho, ao menos nesse momento da pesquisa, a análise de aspectos formais (como são apresentadas e dispostas no texto) e semânticos (significado que possuem para o leitor) das ilustrações². Sob essa perspectiva, nove categorias, com correspondentes subcategorias foram propostas: (i) Laboratório e experimentação; (ii) Indústria e meios produtivos; (iii) Gráficos e diagramas; (iv) Ilustrações relacionadas ao cotidiano; (v) Modelos; (vi) Ilustrações que remetem à História da Ciência e da Química e (vii) Fotos ou esquemas de amostras de origem animal, vegetal ou mineral; (viii) Analogias; (ix) Conceitos de Física. As Figuras 1 a 9 exemplificam as categorias acima mencionadas.

¹ A localização das obras deu-se através dos sistemas eletrônicos de acervo digital (*Dedalus* e *Minerva*, para a USP e UFRJ, respectivamente) e através do endereço eletrônico <<http://www.estantevirtual.com.br>>, o qual possibilita o acesso ao acervo de diferentes sebos brasileiros.

² Sobre esse tema, vide Perales & Jiménez, 2002.

Quadro 1. Obras analisadas durante a pesquisa.

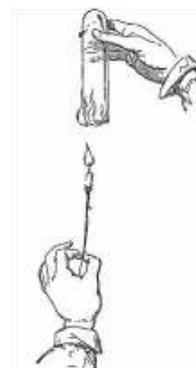
Ano de publicação	Obra	Publicação original
1901	TROOST, L. <i>Compendio de chimica</i> . Tradução da 29. ed. Francesa. Rio de Janeiro: H. Garnier.	França
1904	TEIXEIRA, M. J. <i>Noções de chimica geral</i> . 6. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1912	NERNST, W. <i>Traité de chimie générale</i> . Tradução da 6. ed. alemã. Paris: Libraire Scientifique. 1 e 2 vols.	Alemanha
1913	MACIEL, M. <i>Elementos de chimica geral</i> . 2. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves.	Brasil
1917	McPHERSON, W.; HENDERSON, W.E. <i>An elementary study of chemistry</i> . 2. ed. Boston: The Atheneum Press.	EUA
1924	OSTWALD, W. <i>Compendio de química general</i> . Tradução da 6. ed. alemã. Barcelona: Manuel Marín.	Alemanha
1927	BOLL, M. <i>Cours de chimie</i> . Paris: Dunod. 1 vol.	França
1927	LAMIRAND, J. <i>Cours de chimie</i> . Paris: Masson et Cie.	França
1928	BAVINK, B. <i>Introducción a la Química General</i> . 2. ed. Barcelona: Labor.	Alemanha
1931	FRANCA, L. <i>Apontamentos de chimica geral</i> . 5. ed. Rio de Janeiro: Pimenta de Mello.	Brasil
1932	PUIG, Pe. I. <i>Curso geral de chimica</i> . Tradução da 2. ed. espanhola. Porto Alegre: Globo.	Espanha
1939	DEMING, H. G. <i>General chemistry: an elementary survey</i> . 4. ed. New York: John Wiley & Sons.	EUA
1944	BABOR, J. A. <i>Química general moderna</i> . 2. ed. Barcelona: Manuel Marín.	EUA
1944	BRINKLEY, S. R. <i>Principles of general chemistry</i> . 3. ed. New York: The Macmillan Company.	EUA
1946	HOLMES, H. N. <i>Introductory college chemistry</i> . 4. ed. New York: The Macmillan Company.	EUA
1950	PARTINGTON, J. R. <i>Química general e inorgânica</i> . Madrid: Dossat.	Inglaterra
1965	PAULING, L. <i>Química geral</i> . 2a. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico.	EUA
1965	HARDWICK, E. R. <i>Química</i> . São Paulo: Edgard Blucher.	EUA
1965	BABOR, J. A. <i>Química general moderna</i> . 7a. ed. Barcelona : Manuel Marín.	EUA
1967	OHLWEILER, O. A. <i>Introdução à química geral</i> . 1a. ed. Porto Alegre : Globo.	Brasil
1968	SIENKO, M. J.; PLANE, R. A. <i>Química</i> . 2a. ed. São Paulo : Nacional.	EUA
1970	MAHAN, B. H. <i>Química: um curso universitário</i> . 1a. ed. São Paulo: Edgard Blucher.	EUA
1977	O'CONNOR, R. <i>Fundamentos de química</i> . 1a. ed. São Paulo : Harper & Row do Brasil.	EUA
1978	MASTERTON, W. L. <i>Química geral superior</i> . 4a. ed. Rio de Janeiro: Interamericana.	EUA
1979	QUAGLIANO, J. V.; VALLARINO, L. M. <i>Química</i> . 3a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara.	EUA
1974	PIMENTEL, G. C.; SPRATLEY, R. D. <i>Química : um tratamento moderno</i> . 2v. 1a. ed. São Paulo : Edgard Blucher.	EUA
1974	SLABAUGH, W. H. PARSONS, T. D. <i>Química geral</i> . 1. ed. Rio de Janeiro : LTC.	EUA
1981	RUSSELL, J. B. <i>Química geral</i> . 1a.ed. São Paulo : McGraw-Hill do Brasil.	EUA
1986	BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. <i>Química geral</i> . 2a. ed. Rio de Janeiro: LTC.	EUA
1990	MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; STANITSKI, C. L. <i>Principios de química</i> . 6a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara	EUA
1998	KOTZ, J. C.; TREICHEL, Jr., P. M. <i>Química e reações químicas</i> . 2 v. 3a. ed. Rio de Janeiro : LTC.	EUA
1999	BROWN, T. L.; LeMAY, H. E.; BRUCE, E. <i>Química : ciência central</i> . 7a.ed. Rio de Janeiro : LTC.	EUA
2001 (c 1999)	ATKINS, P. W.; JONES, L. <i>Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente</i> . 1a.ed. Porto Alegre : Bookman.	EUA



(a)



(b)

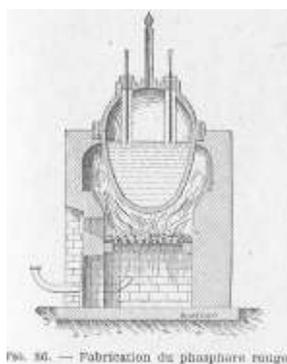


(c)

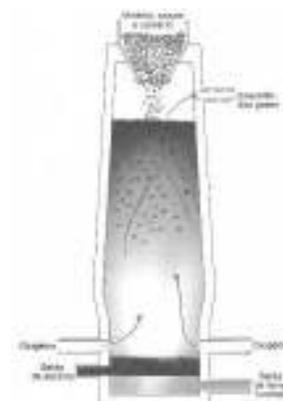
Fig. 1. Exemplos para a categoria “Laboratório e experimentação”: (a) Balança de dois pratos, Ostwald (1910); (b) Recipiente para armazenamento de ácido fluorídrico, McPherson, (1917); (c) Inflamação do hidrogênio em contato com o ar e uma vela acesa, Troost (1901).



(a)

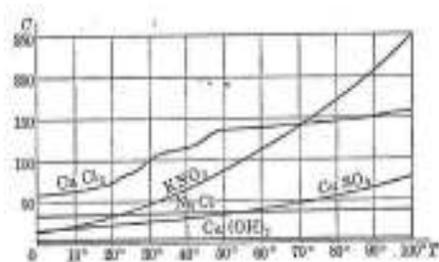


(b)

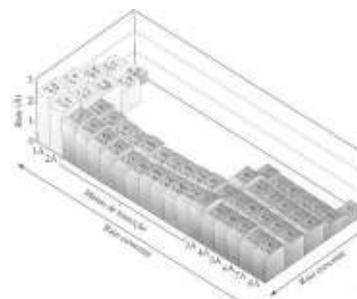


(c)

Fig. 2. Exemplos para a categoria “Indústria e meios produtivos”: (a) Manufatura da porcelana, McPherson e Henderson (1917); (b) Fabricação do fósforo vermelho, Boll (1927); (c) Alto forno, Masterton (1977).



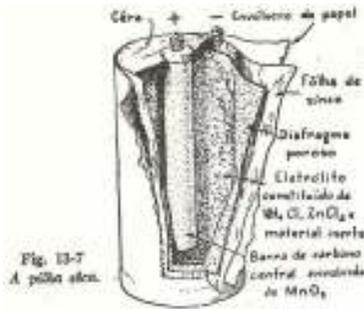
(a)



(b)

Fig. 3. Exemplos para a categoria “Gráficos e diagramas”: (a) Curva de solubilidade, Nernst (1912);

(b) Raios atômicos, Brown (1999).

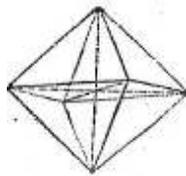


(a)

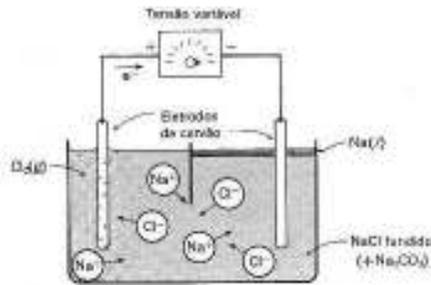


(b)

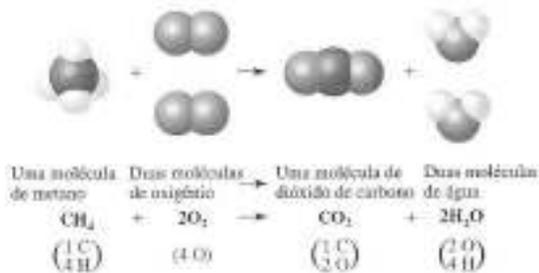
Fig. 4. Exemplos para a categoria “Cotidiano”: (a) Pilha seca, Pauling (1972); (b) O depósito de cromo, além de dar um ar decorativo, dá proteção eletroquímica ao aço dessa peça, Atkins (2001).



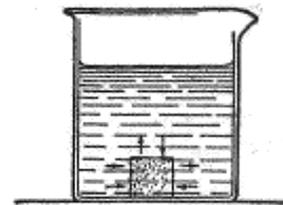
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 5. Exemplos para a categoria “Modelos”: (a) Octaedro, Troost (1901); (b) O mecanismo da eletrólise, Sienko e Plane (1968); (c) Combustão do metano, Brown (1999); (d) Diagrama ilustrando o equilíbrio de uma solução saturada, McPherson (1917).



(a)



(b)

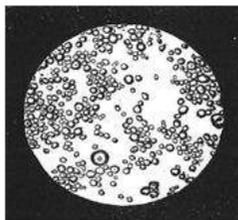


(c)

Fig. 6. Exemplos para a categoria “História da ciência e da química”: (a) Gibbs, Kotz (1998); (b) Experimento de Lavoisier sobre a composição do ar, Troost (1901); (c) Laboratório alquímico, McPherson e Henderson (1917).



(a)



(b)



FIG. 80.—Crystals of rhombic sulfur.



FIG. 81.—Crystals of monoclinic sulfur.

(c)

Fig. 7. Exemplos para a categoria “Amostras de origem animal, vegetal e mineral”: (a) Suco opiáceo escorrendo de cápsulas de dormideira, Troost (1901); (b) Gota de leite vista ao microscópio, Troost (1901); (c) Cristais de enxofre rômbo e monoclinico (Deming, 1939).



Fig. 19--The gram-molecular volume for an ideal gas under standard conditions.

(a)

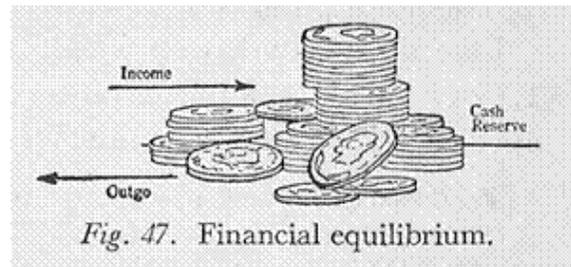


Fig. 47. Financial equilibrium.

(b)

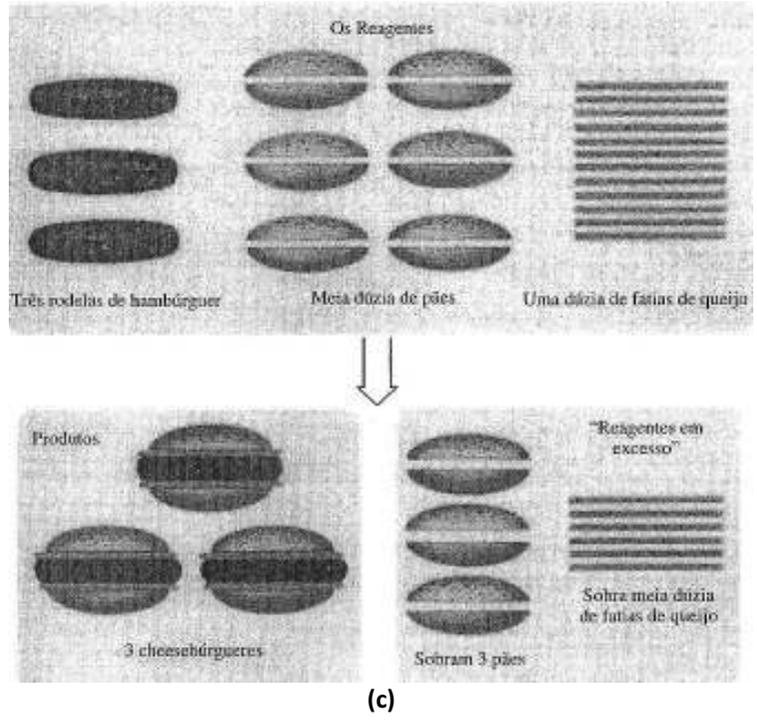
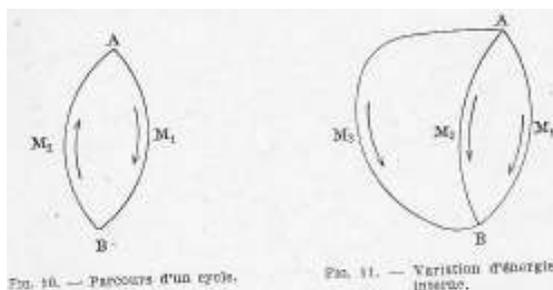


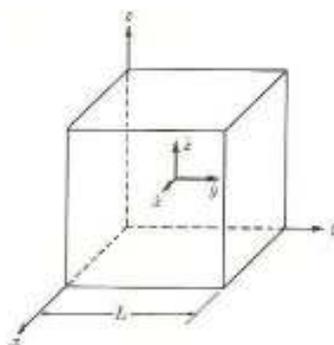
Fig. 8. Exemplos para a categoria "Analogias". (a) Volume molar (Deming, 1939); (b) Equilíbrio financeiro (Holmes, 1946); (c) Analogia para o tópico estequiometria, incluindo os conceitos de reagentes, produtos, reagente em excesso e reagente limitante (Kotz, 1998).



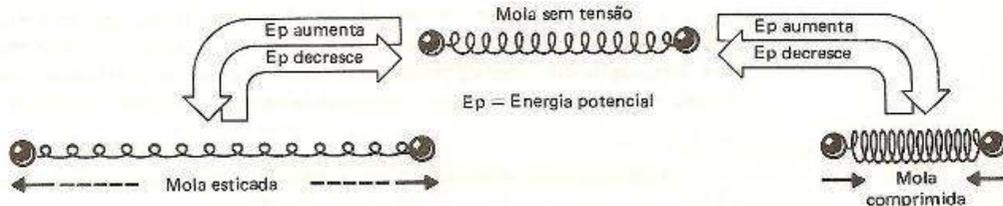
(a)

(b)

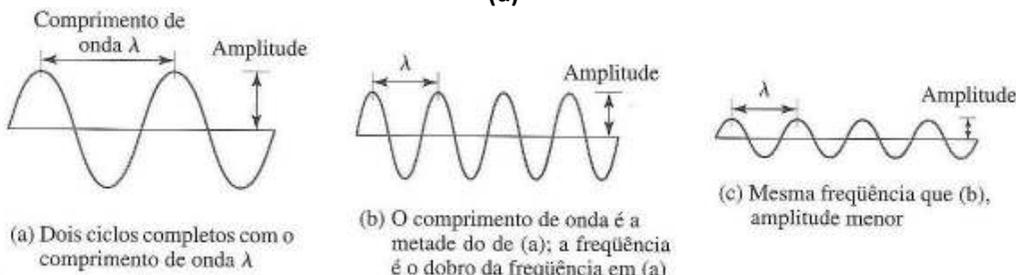
Fig. 2.6 Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases.



(c)



(d)



(e)

Fig. 9. Exemplos para a categoria “Conceitos de Física”. (a) Rotas de um ciclo e variação de energia interna (Boll, 1927); (b) Pêndulo (Bavink, 1928); (c) Coordenadas e velocidades usadas na teoria cinética dos gases (Mahan, 1970); (d) Energia potencial existente entre objetos que se atraem ou repelem (Brady & James, 1986); (e) A energia radiante tem características ondulatórias (Brown 1999).

A combinação das análises iconográfica e textual permitiu a identificação de diferentes tendências para o ensino de Química no Brasil, constituídas a partir de diferentes influências, conforme será apresentado.

3. TENDÊNCIAS PARA A EDUCAÇÃO EM QUÍMICA A PARTIR DOS LIVROS DIDÁTICOS

O período entre 1900 e 1939 foi marcado pela circulação de obras de diferentes nacionalidades no contexto brasileiro. Foram analisadas obras provenientes da França, Alemanha, Espanha, EUA e Brasil, o que teve como consequência a circulação de diferentes concepções de ensino de química em nosso país. Tal assertiva fica clara na comparação do caráter mais descritivo e experimental das obras francesas (caracterizadas pela predominância da categoria “Laboratório e experimentação”), mais aplicado e prático das obras estadunidenses (caracterizado pela ênfase nas categorias “Indústria e meios produtivos”) e mais matematizado e gráfico das obras alemãs (caracterizado pelo predomínio da categoria “Gráficos e diagramas”). De forma até mesmo surpreendente, ainda que o início da produção de conhecimento químico no Brasil tenha se dado de maneira tardia, de forma que as obras brasileiras analisadas certamente acabam por configurar apanhados de obras estrangeiras, tal compilação não se deu sem alterações significativas impostas pela concepção, pelo *estilo* de ensino predominante à época no país. Tais alterações já não se fizeram tão perceptíveis, por exemplo, na obra espanhola (Puig, 1932) que, apesar de apresentar algumas contribuições interessantes no que se refere a representações para a estrutura da matéria, deixa mais que evidentes as influências francesas, especificamente da obra de Troost (1901).

Deixando momentaneamente de lado as discussões sobre a qualidade das referidas obras, os livros brasileiros mostraram pouco (ou nada) em comum com as demais obras analisadas, no que se refere aos aspectos considerados na presente pesquisa. Tais obras caracterizaram-se essencialmente pela predominância textual e reduzido uso de ilustrações ou outros recursos que buscassem a facilitação do processo de aprendizagem. Mas a que se deveria essa observação? Limitações técnicas? Concepção de ensino?

A tradição escolástica medieval, privilegiando o estudo dos clássicos e do trabalho intelectual em detrimento do manual, mesmo que praticamente superada no restante na Europa, continuava a “assombrar” Portugal ainda em meados do século XVIII. Sendo a educação jesuítica predominante no Brasil até 1759, quando ocorre a expulsão da Companhia de Jesus, o primeiro processo de organização escolar no Brasil dá-se com bases humanistas clássicas. Tratando sobre o ensino jesuítico no Brasil, Ribeiro (1982) afirma que

O seu objetivo acima de tudo religioso, o seu conteúdo literário, a metodologia dos cursos inferiores (Humanidades), que culminava com o movimento denominado imitação, ou seja, a prática destinada a adquirir o estilo literário de autores clássicos, e a dos cursos superiores (Filosofia e Teologia), subordinada ao ‘escolasticismo’, faziam com que não só os religiosos de profissão como os intelectuais de forma geral se afastassem não apenas de outras orientações religiosas como também do espírito científico nascente [...] Isto porque a busca de um novo método de conhecimento,

método este que caracteriza a ciência moderna, tem origem no reconhecimento das insuficiências do método escolástico medieval, adotado pelos jesuítas (Ribeiro, 1982, p. 31).

Ainda segundo a autora, mesmo com a criação dos primeiros cursos superiores no Brasil entre 1808 e 1814, o estudo das diferentes áreas do conhecimento seguia, ainda, os mesmos padrões mais literários (retóricos) que científicos. Na realidade, o panorama da organização escolar brasileira (1549 a 1964) tecido pela autora evidencia a permanência das dicotomias intelectual vs. prático, palavra vs. ação, por todo o período estudado (Ribeiro, 1982).

Apesar da considerável diversidade de origens das obras didáticas no período que compreende o final do século XIX e início do XX³, as décadas seguintes parecem assistir a redução da produção brasileira e a “invasão” não só dos materiais, mas da filosofia estadunidense de ensino. De fato, dentre as 20 obras consideradas representativas do período entre 1940 e 2001 apenas duas não tiveram sua origem nos EUA.

No início dos anos 1940, com o advento da Segunda Grande Guerra, os EUA moveram consideráveis esforços no sentido de conquistar a simpatia da América Latina pelo *american way of life*. No Brasil dos finais da década de 1930 e início dos anos 1940, a faceta técnico-consumista dos EUA não atraía mais atenção que o modelo germânico, fascinante e aparentemente muito promissor, pelo menos até a primeira metade da década de 1940. Os principais artifícios envolvidos nessa conquista eram os meios de comunicação, especialmente rádio e cinema, mas Quintaneiro (2002) ressalta que, frente a um ensino superior brasileiro dominado, principalmente, pela literatura francesa e alemã, etapa importante da difusão cultural seria “a distribuição a estudantes universitários de livros técnicos e de manuais, traduzidos para o português, nas áreas de medicina, engenharia, matemática, história, ciências físicas e sociais, entre outras” (Quintaneiro, 2002, p. 145).

Mas a entrada massiva de literatura estadunidense no Brasil, no que concerne ao escopo dessa pesquisa, deu-se a partir da década de 1960. E, nesse momento, cabe a discussão de outro fator.

No final da década de 1950, a universidade brasileira sofria muitas críticas, com consequentes mobilizações tanto do Governo quanto da comunidade acadêmica, reivindicando reformas (Paula, 2009). Com a intenção de valer-se de exemplos de planejamento e administração considerados bem sucedidos, o governo brasileiro solicitou ajuda da USAID (*United States Agency for International Development*). Como resultado desse processo, em 1965 e 1967 foram assinados os acordos MEC/USAID, que previam assistência na forma de seminários, cursos e consultorias, objetivando o desenvolvimento dos diferentes níveis de ensino no Brasil. Entre os pontos do convênio constava o aumento da distribuição gratuita de livros didáticos às escolas de nível básico e a facilitação do acesso de estudantes de nível superior aos livros técnicos. Para garantir tal proposta, criou-se, em outubro de 1966, a Comissão do Livro Técnico e do Livro Didático (COLTED), sendo prevista a distribuição de 51 milhões de livros até 1969 (Alves, 1968).

Além das mudanças nas influências culturais, também merece destaque a alteração na

³ Nesse período, além dos já citados, o Brasil contava com autores importantes como Álvaro de Oliveira, Moraes e Valle, Domingos Freire e Pecegueiro do Amaral (Rheinboldt, 1955).

distribuição das ilustrações analisadas entre as categorias propostas. O primeiro período mencionado (1900-1950) foi responsável por um total de 2280 ilustrações, número que aumentou para 5021 no segundo período, totalizando 7301 ilustrações analisadas. É interessante notar, no entanto, o deslocamento nas prioridades de representação, especialmente do prático e do aplicado para o teórico, com sensível diminuição no número de representações associadas ao laboratório, à experimentação e à indústria, com correspondente aumento de representações do tipo modelos e gráficos cartesianos. Tal deslocamento parece ter ocorrido na transição da década de 1940 para 1950, estendendo-se pelos anos 60 do século XX, conforme demonstram as Figuras 10 e 11.

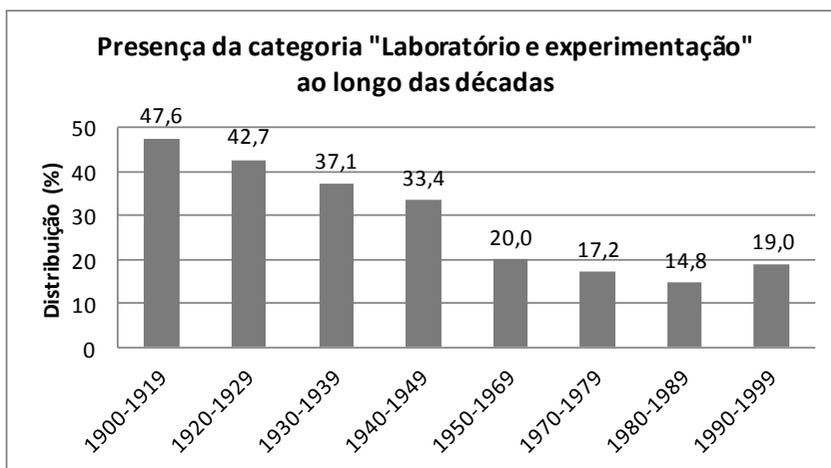


Fig. 10. Ocorrências para a categoria “Laboratório e experimentação” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

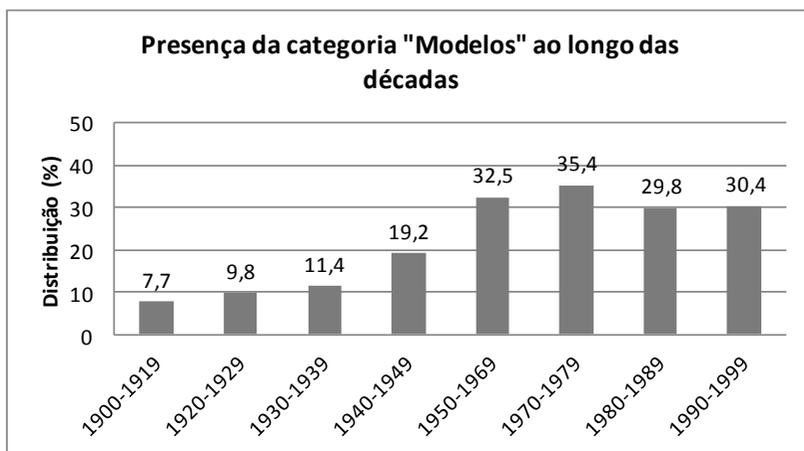


Fig. 11. Ocorrências para a categoria “Modelos” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

De fato, durante o “Symposium on the contents of the basic courses in Chemistry”, realizado em 1951 em Nova Iorque, como parte integrante do 120º Encontro da *American Chemical Society* (ACS), Tamres & Bailard, Jr. (1952) defenderam veementemente, num texto de tom bastante prescritivo, a importância dos princípios no ensino de Química, em detrimento da superficialidade dos fatos:

O enfoque nos princípios se faz necessário porque os fatos da química – propriedades e usos de substâncias químicas – se acumularam tão rapidamente que ninguém pode esperar lembrar deles, a não ser que eles sejam reduzidos a seus princípios subjacentes. E mesmo que eles fossem lembrados, pouco significariam aos estudantes e não seriam usados para prever outras propriedades (Tamres & Bailard Jr., 1952, p. 218).

Sob essa perspectiva, os conteúdos de química descritiva assumem caráter cada vez mais ilustrativo, cuja importância seria a exemplificação do verdadeiro *corpus* do conhecimento químico, os conceitos e princípios.

A maior ênfase nos princípios, e em sua aplicação à explicação e previsão das propriedades das substâncias e ocorrência de fenômenos químicos, assumiu, ainda, outra dimensão no que se refere às estratégias de representação, além da multiplicação dos modelos: a associação destes com diferentes categorias, como demonstra a Figura 12. Dentre as obras analisadas, a primeira observação de associação de diferentes níveis de representação como estratégia de apresentação do conteúdo foi observada na obra de Nernst, publicada em 1912. Tal estratégia mostrou-se timidamente presente até o final da década de 1930, quando passou a ser utilizada com maior frequência, conforme demonstra a Figura 13.

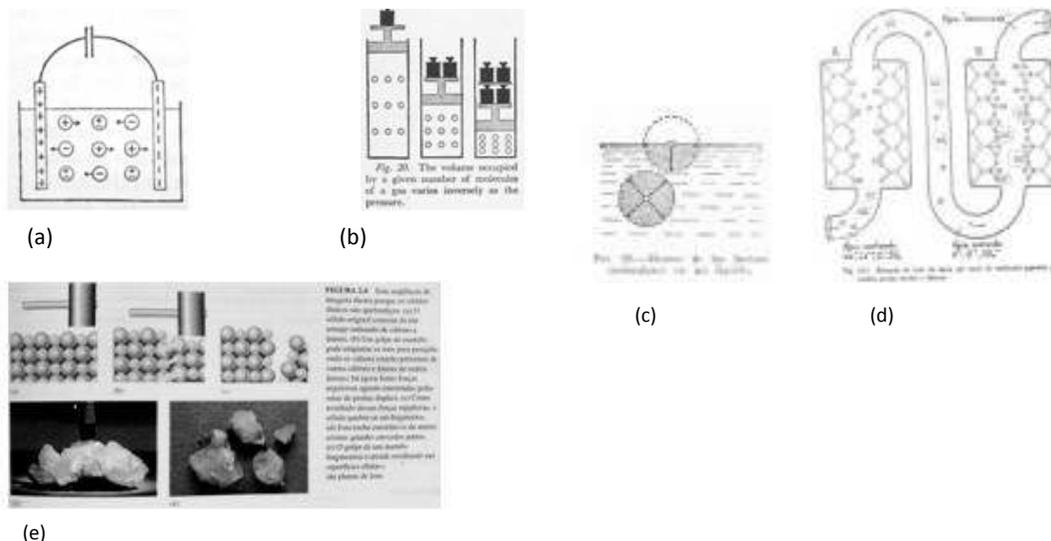


Fig. 12. Exemplos de ilustrações que se utilizam da associação entre os níveis fenomenológico e teórico-conceitual de representação dos fenômenos. **(a)** Mecanismo da condução eletrolítica (Nernst, 1912); **(b)** O volume ocupado por um dado número de moléculas varia inversamente com a pressão (Holmes, 1946); **(c)** Alcance das forças moleculares em um líquido (Partington, 1950) **(d)** Remoção de íons da água por meio de moléculas gigantes que contêm grupos ácidos e básicos (Pauling, 1972); **(e)** Esta seqüência de imagens ilustra porque os sólidos iônicos são quebradiços - Associação entre as categorias “Amostras de origem animal, vegetal ou mineral” e “Modelos” (Atkins e Jones, 2001).

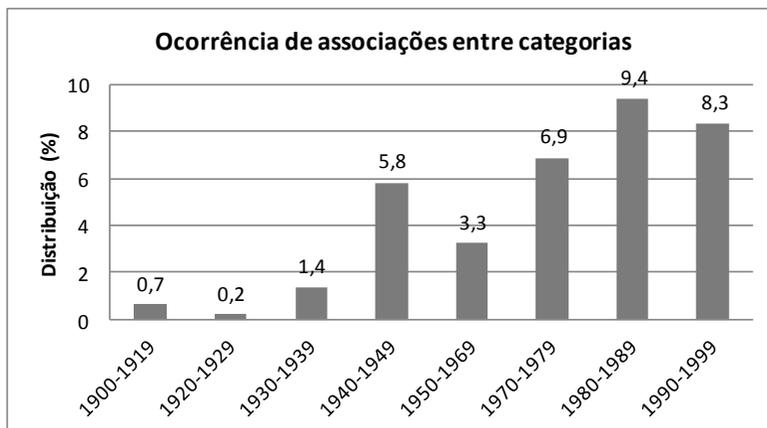


Figura 13. Ocorrência de associação entre as categorias ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Dois outros fatores parecem ter assumido especial importância na atribuição de um caráter cada vez mais “acessório” à química descritiva pelos autores estadunidenses: os objetivos assumidos pelos EUA para a educação em ciências no período de guerra e pós-guerra, e o rápido desenvolvimento do conhecimento químico, que “colocou em xeque o tempo disponível para a química descritiva num curso introdutório” (Sienko & Plane, 1968).

Em relação ao primeiro fator mencionado, uma análise das publicações do *Journal of Chemical Education*, importante e mais antigo periódico relacionado à educação em química dos EUA, revela uma série de artigos que evidenciam a forte influência que a indústria exercia sobre os currículos dos cursos superiores de química, os chamados *Colleges*. Tal relacionamento mostrou-se estreito desde a década de 1920 (o primeiro número desse periódico foi publicado em 1924), período no qual vários artigos procuravam ressaltar o importante papel da química na indústria; mas parece ter sido intensificado no final da década de 1930 e início dos anos 1940, sendo significativamente fortalecido no período pós-Segunda Guerra. Nesse período, foram várias as comunicações que discutiam as expectativas e necessidades da indústria, e que propunham melhor adequação dos currículos em química aos seus interesses (White, 1931; du Pont, 1937; Willard, 1937; Robertson, 1940; Moore, 1941; Hauser, 1943; Rinenart, 1947; Quill, 1947; Murphy, 1947).

As novas competências e habilidades a serem desenvolvidas são apresentadas por White (1931) no artigo “Chemical industry and the curriculum”:

Há 30 anos, a habilidade de proceder análises era a finalidade mais importante. Hoje, a maioria das análises de rotina é feita por analistas inexperientes (...) O laboratório industrial já não é mais uma meta. As áreas valorizadas são a pesquisa, desenvolvimento e operação. Todas elas requerem a habilidade de aplicar leis gerais a novas condições. Matemática e física devem ser enfatizadas e trabalhadas com especial atenção na formulação de problemas. O trabalho de laboratório deve ser restrito, e os princípios e problemas enfatizados. (White, 1931, p. 2016)

A formação de químicos cada vez mais conscientes de seu trabalho, no sentido de mais criadores e menos reprodutores, fez-se ainda mais necessária no período pós-guerra, quando o sucesso dos projetos da química, além de promovê-la enquanto ciência, abriam várias oportunidades de emprego para um futuro próximo em suas indústrias (Quill, 1947). E esses novos postos deveriam ser assumidos por pessoal qualificado a promover o progresso do país (Hauser, 1943). Quill (1947) evidenciou sua preocupação com a formação dos novos químicos:

O sucesso de muitos projetos da química no esforço de guerra serviu para tornar a química glamorosa. Jovens estão se inscrevendo para nossa profissão, pois se acredita que haverá grande necessidade de químicos nos próximos anos. Contudo, a maioria dessas pessoas não está qualificada a se formarem químicos – são mais adequados para treinamento como laboratoristas ou técnicos. (Quill, 1947, p. 369)

Conforme mencionado, o avanço sem precedentes do conhecimento químico também foi responsável pela redução do conteúdo descritivo nos cursos introdutórios de química. O mesmo vale para a aproximação cada vez maior com os conceitos da física. Em análise de 25 livros didáticos utilizados nos *Colleges* no período de 1913 a 1937, Dunbar (1940) observou aumento significativo, ao longo dos anos, na ênfase em temas como colóides, ionização, radioatividade e estrutura atômica e molecular. Observação semelhante também foi feita por Nicholson (1956) ao proceder a análise de livros didáticos publicados entre 1946 e 1955. Segundo o autor, a diminuição das distâncias entre a física e a química foi responsável por mudanças do conteúdo e do estilo da maioria dos textos didáticos, os quais teriam assumido o que denominou como “*physical approach*”. Tais resultados corroboram e justificam a maior presença de ilustrações classificadas como “Conceitos de física” em nossa análise. Cabe destacar, porém, que esse aumento deu-se de forma muito mais pronunciada entre os anos 1950 e 1960.

A nova tendência de ênfase nos princípios e nos conteúdos matemáticos e físicos não foi unanimemente bem recebida, sendo que alguns autores atribuíam a ela o reduzido número de estudantes interessados em aprofundar seus conhecimentos em química, em contraposição ao *boom* esperado na carreira para o período do pós-guerra. Nicholson (1956), defensor do conteúdo de química descritiva como componente “vital” de um curso introdutório de química, sugeria que o “*physical approach*” poderia ser uma causa parcial do pouco interesse dos ingressantes nos *Colleges* que, assustados, não optariam por aprofundar seus estudos em química. Seguindo a mesma direção, Rakestraw (1958) também propunha que a crítica escassez de pessoal na área das ciências e das técnicas seria reflexo da evidente ineficiência da educação em ciências em todos os níveis, mas especialmente no secundário.

Frente à necessidade não só de mais cientistas e mais engenheiros, mas dos melhores profissionais nessas áreas (Rakestraw, 1958), novas alternativas curriculares começam a ser pensadas, a começar pelo questionamento da divisão clássica e estanque da química em geral, orgânica, inorgânica e analítica, e da quase exclusividade do ensino de princípios. Assim, durante as atividades do “Symposium on new ideas in the four-year chemistry curriculum”, no 132º Encontro da *American Chemical Society* ocorrido em Nova Iorque em 1957, Strong & Benfey (1958) afirmavam que:

O currículo de química enfrenta um impasse. Houve um grande movimento contrário ao ensino das miríades de fatos isolados, o qual se mostrou na transformação do curso

de primeiro ano em um curso de estudo dos princípios químicos (...) Não há mais espaço para mais princípios, e nem podem eles ser unificados e simplificados sem a ajuda da termodinâmica ou da teoria quântica. Para isso, porém, os calouros não estão preparados. Além disso, o deslocamento da aprendizagem do conteúdo descritivo e das habilidades nos últimos anos significou a quase impossibilidade de encontrar espaço nos cursos mais avançados para uma discussão mais detalhada e madura dos conceitos químicos. Apenas aqueles que sobreviveram a um ano de abstrações e dois anos de treinamento de habilidades e assimilação de dados factuais terão o privilégio de ganhar, ao final do curso, uma visão equilibrada dos métodos e objetivos da química. (Strong & Benfey, 1958, p. 164).

Além do maior uso de representações referentes à categoria modelos, as obras publicadas no início da década de 1950 e ao longo dos anos 1960, tiveram redução significativa no número de ilustrações referentes à categoria “Indústria e meios produtivos” e à categoria “Cotidiano”. Sobre tal tendência, observada especialmente na década de 1960, Gómez-Ibáñez (1972) afirmou durante o *Simpósio Internacional de Educação em Química*, ocorrido em São Paulo, em 1971:

Sinto que o conteúdo dos cursos básicos tende a oscilar entre dois extremos: um é primariamente descritivo e o outro se inclina fortemente para os princípios. Contrariando a série de fatos, dispositivos e detalhamentos de processos industriais que apresentava o livro de trinta anos atrás, o início dos anos 1960 assistiu a promoção de novos cursos introdutórios nas ciências refletir uma abordagem mais moderna do ensino de química. Alguns desses livros sofreram duras críticas, sendo classificados como “dogmáticos”. (Gómez-Ibáñez, 1972, p. 363).

Na sequência de sua fala, Gómez-Ibáñez citou, ainda, Ronnenberg, que, em 1970, constatava que “[de maneira geral] esses cursos, e outras tentativas curriculares de melhorar os cursos elementares de ciências, na realidade alienaram muitos estudantes em relação às ciências” (Gómez-Ibáñez, 1972).

A ideia de ênfase quase exclusiva nos princípios, apesar de duramente questionada desde meados da década de 1960, continuou circulando no Brasil por intermédio dos textos de apresentação das obras, geralmente escritos num período anterior à real publicação da obra no país. Seguem exemplos de trechos de Química Geral, de Linus Pauling. A obra analisada foi publicada no Brasil em 1972, como a quarta reimpressão (1966, 1967, 1969, 1972) da segunda edição publicada em 1965 nos Estados Unidos (a primeira edição original foi publicada em 1947, sob o título de *General Chemistry*). Na versão em português, são apresentados os prefácios da primeira e segunda edições.

Química é um assunto extenso, que continua a crescer à medida que se descobrem ou preparam novos elementos, se sintetizam novos compostos ou se formulam novos princípios (...) No passado, um curso de química geral tendia a ser uma colcha de retalhos de química descritiva e certos tópicos teóricos. O progresso feito nas últimas dezenas de anos foi tão grande que a apresentação da química geral aos alunos da geração presente pode ser feita de maneira mais simples, direta e lógica que anteriormente (...) Fatos de química descritiva são apresentados em quantidade

limitada, suficiente para fornecer ao aluno uma introdução à variedade de substâncias químicas e à sua interessante diversidade de propriedades, mas insuficiente para confundi-lo ou soterrá-lo sob uma avalanche de fatos (Pauling, 1972, p. XI).

A introdução de princípios gerais novos, devidos ao desenvolvimento da química teórica, tornou possível omitir parte da matéria anteriormente incluída num curso introdutório. Em particular, pode-se gastar uma fração menor de tempo no aprendizado dos fatos da química descritiva, porque muitos desses fatos foram correlacionados e sistematizados por novos princípios (Pauling, 1972, p. VIII).

É interessante notar como o discurso aplicado aos currículos dos *Colleges* foi incorporado no contexto brasileiro. A obra de Slabaugh & Parsons, *General Chemistry*, publicada em 1971, impressa no Brasil em 1974 e reimpressa em 1977, continha, originalmente, dois capítulos destinadas à química descritiva, os quais foram retirados da edição em português. Tal influência fica também evidente no prefácio de 1967, mantido na edição de 1971, elaborado por Ohlweiler, único autor brasileiro a ter uma obra analisada por essa pesquisa no período posterior a 1950:

(...) o estudo desse importante setor da Química [referindo-se à Química Inorgânica], em sua forma clássica, isto é, em termos meramente descritivos, tornou-se difícil e, ainda mais, impraticável. Felizmente, a teoria avançou paralelamente com a observação experimental. Os dados acumulados foram submetidos a um processo de sistematização, que criou as condições para o tratamento dos problemas não mais de um ponto de vista fenomenológico, mas a partir de um conjunto coerente de princípios e teorias gerais assentadas nas propriedades atômicas e moleculares fundamentais. (Ohlweiler, 1971, p. viii)

É verdade que alguns autores já vinham identificando problemas na nova estratégia curricular, como evidencia o prefácio da obra de Sienko & Plane (1968):

A importância dada ao estudo das ciências físicas, particularmente nos anos do estudo médio, em vez de diminuir, complicou consideravelmente os problemas encontrados nos primeiros anos do curso universitário de química. O mais sério desses problemas talvez seja a grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes. Assim, entre os estudantes mais diferenciados, essa compreensão parece ter melhorado, mas piorado entre os mais fracos (...) O maior conhecimento provavelmente provém de um contato mais amplo com as aplicações da ciência moderna; a menor compreensão, da aceitação universal de superficialidade às custas da profundidade intelectual. Qualquer que seja a explicação, o fato é que a maioria dos estudantes prefere memorizar a pensar. (Sienko e Plane, 1968 – Prefácio à segunda edição)

A leitura dos textos introdutórios também evidencia que o referido insucesso cada vez mais passou a ser agravado por uma mudança no público ingressante nos cursos superiores. A “grande diversificação encontrada na compreensão dos conceitos pelos estudantes” alertadas por Sienko e Plane, certamente estava relacionada à grande heterogeneidade dos

ingressantes nos cursos superiores, em razão da massificação do ensino nos Estados Unidos no período entre 1950 e 1985, quando se observou aumento de cinco vezes no número de estudantes (Novak, 2007). Essa heterogeneidade não se referia apenas à bagagem, mas também a diversidades de interesse e habilidades, o que fica claro nos trechos que seguem:

Fomos também influenciados pela mudança de composição do corpo estudantil em química geral. Muito poucos dentre os nossos estudantes têm química como matéria principal – a maior parte está preparando-se para carreiras nas áreas de engenharia, ciências biológicas, medicina e profissões correlatas. Eles não estão interessados em teoria abstrata; por outro lado, querem saber como os princípios de química podem ser aplicados às suas áreas de interesse e, de um modo mais geral, ao mundo à sua volta (Masterton, 1978, p. vii).

Entre os estudantes que recebem química geral introdutória, hoje em dia, as perspectivas vocacionais, a bagagem educacional e as motivações parecem ser mais amplas do que antigamente (Russel, 1981).

O Brasil também foi palco da massificação no ensino universitário na virada da década de 1960 para 1970, com superlativo aumento das vagas e decorrentes dificuldades, apresentadas pelos editores brasileiros no prefácio à edição em português da obra de O'Connor, publicada no Brasil em 1977:

(...) [esta obra] vem resolver problemas decorrentes da 'massificação do ensino', que atualmente leva a um maior número de alunos por turma (...) uma vez que apresenta uma solução válida aos problemas mais comuns inerentes à estrutura de ensino superior brasileira: preparo inadequado dos alunos para iniciar seus estudos na universidade, falta de motivação e desnível entre os alunos, e ainda, tempo insuficiente por parte dos professores para preparo de suas aulas (O'Connor, 1977 – Prólogo à edição em português).

Frente aos problemas relatados, retomemos o final da década de 1950, quando uma das maiores preocupações do governo estadunidense, no que se refere à educação, era recuperar o interesse dos estudantes pelas ciências. Era necessário melhorar a imagem pública da ciência (Rakestraw, 1958) e promover a alfabetização científica, formando cidadãos capazes de entender os métodos da ciência e o papel da química na sociedade e no cotidiano (ACS, 1958). Uma das principais estratégias propostas para o ensino secundário foi a adoção do tema central "Ligações químicas", a partir do qual o curso deveria ser desenvolvido, sob uma base experimental. Já para o ensino superior, uma das principais discussões era a necessidade de estabelecimento de um equilíbrio entre os aspectos práticos e teóricos (Nicholson, 1956; Hammond, 1970; Hammond & Nyholm, 1971) e a desconstrução da divisão clássica e estanque das subáreas da química, a qual seria responsável por um "paroquialismo" prejudicial, ao dificultar o reconhecimento da química como uma ciência de interfaces (Hammond, 1970; Hammond e Nyholm, 1971).

Como forma de expressão do currículo, os livros didáticos acompanharam tais tendências, e seus autores passaram a evidenciar maior preocupação com o entendimento dos estudantes e com o estabelecimento de relações entre o conhecimento químico e possíveis

áreas de interesse dos mesmos, tendência mais uma vez evidenciada nos textos de apresentação das obras.

Através de curtas introduções às unidades, poderemos também sugerir algumas das aplicações da química em outras áreas; é por isso que a química deve ser conhecida, mesmo se vocês não vão ser químicos profissionais. (O'Connor, 1977 - Prefácio ao estudante.)

Ao revisar o texto tivemos dois objetivos principais: tornar o texto mais útil, legível e interessante para os estudantes (...) entremeamos mais exemplos de substâncias e aplicações da química nas discussões. O aspecto visual do livro também foi melhorado e um grande número de fotografias foi adicionado para tornar a química mais viva para os estudantes. Além disso, a forma pela qual os tópicos discutidos em cada capítulo relacionam-se com o mundo que nos cerca é enfatizada pela fotografia que inicia cada capítulo. (Brady & James, 1986 - Prefácio ao estudante .)

[tivemos como objetivo principal] oferecer ampla visão dos princípios da química e da reatividade dos elementos e compostos químicos. Também tentamos transmitir a idéia de a química, que tem uma história expressiva, ser também um campo dinâmico, com novos e importantes desenvolvimentos à vista. Além disso, procuramos mostrar aspectos químicos do nosso ambiente. Por exemplo, quais os materiais importantes para a economia? Como a química contribui para a medicina? (Kotz & Treichel, 1998, p. v)

A forma como essas tendências se manifestam e se evidenciam também nas ilustrações constitui observação ainda mais interessante. A Figura 14 torna notório o aumento da presença de ilustrações referentes ao “Cotidiano” na década de 1980. Ainda que muito menos pronunciado, também foi observado aumento na ocorrência de ilustrações pertencentes à categoria “Indústria e meios produtivos”.

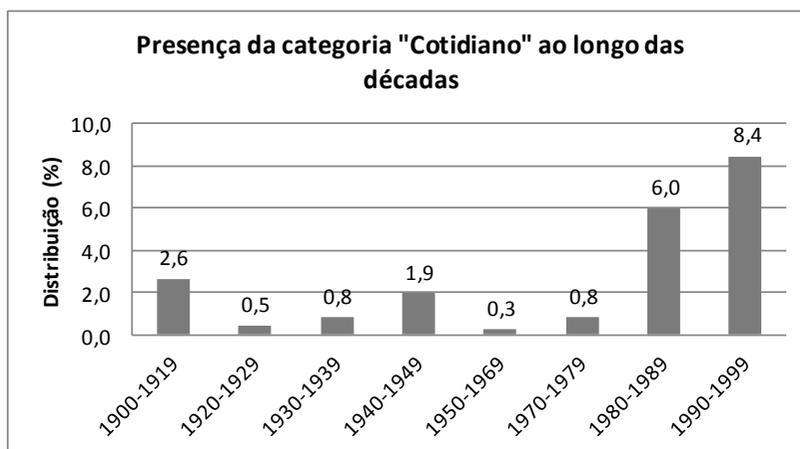


Fig. 14. Ocorrência da categoria “Cotidiano” ao longo das décadas. As porcentagens foram calculadas considerando o total de ilustrações para cada período.

Apesar da reaproximação dos aspectos aplicados da ciência química ser apresentada nos textos e artigos apresentados como estratégia necessária para uma divulgação da química “tal como ela é”, em contraposição à visão compartimentada da metade do século XX, investigação realizada sobre o uso dos livros didáticos nos cursos de química geral do Instituto de Química da USP – São Paulo (Souza; Mate & Porto, 2009), aponta para outro fator, no mínimo, intrigante. Quando perguntada sobre suas percepções e memórias sobre a utilização dos livros, uma das professoras do referido Instituto deu o seguinte depoimento:

(...) na década de 70, o [livro] mais famoso era o Mahan, mas era um aluno diferente, uma época diferente. Olhando agora o livro do Mahan (...) a gente já falava sobre o Mahan e falava olha é um livro árido, é um livro que não quer ser atraente, ele não faz concessão pra ser agradável, é um livro rigoroso, mas, naquela época, o aluno aguentava isso [...] Quando começou a entrar em 80 o aluno não seguia, se você puxava muito o aluno não ia... Então eles não iam conseguir pegar um livro mais pesado. O livro tinha que se adaptar ao aluno, conforme a capacidade do aluno acompanhar. (Souza; Mate & Porto, 2009, p.882)

O relato apresentado leva à reflexão sobre até que ponto as modificações curriculares e pedagógicas propostas representam avanço ou retrocesso na educação em química, ou ainda sobre como tais propostas têm sido interpretadas por aqueles que delas farão uso.

4. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

A proposição de rótulos categóricos ao tipo de material didático produzido por um país pode ser um tanto arbitrária, uma vez que o livro traz consigo características não apenas do ambiente (social, econômico e político) em que foi produzido, mas também da história de formação e das crenças de seu autor. É nesse aspecto que os historiadores interessados nas discussões sobre a existência de *estilos nacionais* chamam atenção para os cuidados com a transformação desse conceito em mero desenho de *caricaturas nacionais*. Considerando as diferenças entre as obras e autores analisados, no entanto, algumas tendências para o ensino de química parecem tornar-se evidentes e destacadamente caracterizadoras de tipos distintos de produção didática no período estudado.

O ensino descritivo da química, valorizando os aspectos relativos à síntese e à análise, mostrou-se presente de forma significativa nas obras francesas, seguidas pelas estadunidenses, ainda que de forma menos intensa e aparentemente com outros objetivos. Se realmente houve essa maior dificuldade de abandono dos aspectos eminentemente empíricos por parte dos autores franceses, parte disso possivelmente pode dever-se a influências da filosofia positivista, a qual teve a França como berço e principal fonte difusora. Em trabalho publicado em 1998, Bram e Anh atribuíram ao positivismo de alguns cientistas franceses, relutantes à especulação de fenômenos não diretamente observáveis e, por esse motivo, céticos frente às teorias, pelo atraso do desenvolvimento da química orgânica na França no século XX (Bram e Anh, 1998).

Já o maior destaque atribuído pelos autores estadunidenses aos processos industriais e aos meios produtivos, ou, em última instância, à aplicação do conhecimento apresentado, é tema de trabalhos de pesquisa em diferentes áreas (Harwood, 1987; Reingold, 1991; Fangerau &

Müller, 2005). Tratando das pesquisas em genética desenvolvidas no período entre guerras nos EUA e na Alemanha, Harwood (1987) identifica um caráter mais prático e especializado no primeiro país e um caráter mais teórico e geral na pesquisa alemã. Essa distinção não se restringia à genética, e foi atribuída pelo autor à estrutura e dinâmica dos sistemas universitários alemão e estadunidense. Este último, vivendo a rápida expansão dos institutos de pesquisa do final do século XIX e incentivando a especialização através criação de novas disciplinas, contrapôs-se a um sistema alemão estagnado em meio a uma crise econômica no período de 1870 a 1933 (Harwood, 1987). Nesse contexto, o autor afirma que, com contexto da imigração de um grande número de cientistas alemães para os EUA após 1933,

Os imigrantes se surpreendiam com a preocupação de seus anfitriões americanos com métodos e medições; os americanos se impressionavam com a predileção de seus convidados pela teorização em grande escala (Harwood, 1987, p. 394).

As considerações apresentadas pelo autor reforçam, ainda, as características apontadas por nós acerca das obras alemãs analisadas.

Todas essas obras estrangeiras aparentemente tiveram significativa circulação no Brasil, motivo pelo qual foram analisadas, e, de alguma forma, certamente influenciaram a prática de ensino de química no país. Constituiria outra interessante proposta de pesquisa, no entanto, a investigação de como essas influências estariam presentes no interior das salas de aula, refletidas na prática docente. Restringimo-nos aqui à discussão das características das obras brasileiras analisadas frente ao contexto acima apresentado.

Apesar da considerável produção de obras didáticas brasileiras destinadas ao ensino (básico e superior) de Química no período que compreende o final do século XIX e início do XX⁴, as décadas seguintes parecem assistir não só à redução dessa produção, mas à “invasão” não só dos materiais, mas da filosofia estadunidense de ensino. De maneira geral, a análise das obras publicadas a partir de 1940 evidenciou diferentes ênfases na forma de apresentação do conteúdo químico, decorrentes do compromisso com diferentes concepções de química ao longo do período estudado. Assim, passamos pela química enquanto ciência experimental (início do século XX), como ciência do invisível (ênfase nos princípios observada a partir dos anos 1950), como ciência de interfaces e de inegável influência tecnológica e, mais recentemente, como ciência da complexidade, como apresentado no prefácio da obra *Neoquímica*, de Nina Hall (2004) que, apesar de não constituir obra destinada ao ensino de Química Geral e nem ter sido publicada no período sob análise, apresenta algumas tendências para a percepção da ciência química em nossa sociedade.

Considerando as atividades de ensino e aprendizagem em química propriamente ditas, entendemos que este trabalho propicia reflexões críticas em relação à postura a ser tomada diante dos livros didáticos. Ao analisar as transformações sofridas pelos livros de química geral ao longo do tempo, a pesquisa possibilita a reflexão sobre as próprias concepções a respeito da química que circulam em sala de aula. Por exemplo, como ele próprio lida com o duplo caráter de ciência das substâncias e ciência das moléculas, em seu planejamento de ensino e em sua

⁴ Nesse período, além dos já citados, o Brasil contava com autores importantes como Álvaro de Oliveira, Moraes e Valle, Domingos Freire e Pecegueiro do Amaral (Rheinboldt, 1955).

atuação didática? Qual a abordagem mais adequada considerando as especificidades de cada turma de alunos? Além disso, talvez sejam encontradas explicações mais sólidas para compreender as grandes modificações experimentadas pelos livros didáticos nas duas últimas décadas. É inescapável observar que muitas modificações se devem a avanços técnicos que permitiram, por exemplo, a multiplicação das ilustrações em cores. Entretanto, este trabalho mostra que esses avanços técnicos estão a serviço da concretização de certas concepções a respeito do que é a química, e de como ela deva ser ensinada. Muitas ilustrações buscam representar modelos submicroscópicos para a matéria, de formas cada vez mais sofisticadas, e relacioná-los com observações dos fenômenos macroscópicos. O professor precisa estar atento a esses aspectos e discutir explicitamente essas questões com seus estudantes, a fim de construir uma visão mais abrangente a respeito do que é a representação em química, e qual o seu papel no conjunto dos conhecimentos dessa ciência.

A análise apresentada nesse trabalho poderia, eventualmente, despertar reflexões também junto a autores de livros didáticos em química geral. A compreensão mais ampla da diversidade de fatores que afetam o ensino de química poderia ajudar esses autores a encontrar formas de apresentar a complexidade do conhecimento químico. Para isso, seria importante que considerassem não apenas os avanços recentes da ciência química, mas também os estudos em educação em química e, ainda, as recentes discussões referentes à própria filosofia da química.

5. CONCLUSÃO

Mais que uma forma de promoção de visão organizada do conteúdo trabalhado, resumindo o “consenso disciplinar” de determinada área, o presente trabalho apresenta os livros didáticos como importante ferramenta na investigação de tendências nacionais no ensino de ciências. Ainda que, conforme lembra Hallewell (2005), a produção de livros represente apenas uma pequena parte da produção, nesse caso científica, de uma nação, os resultados obtidos com essa pesquisa sugerem que sua análise pode apresentar bons indícios não apenas sobre as concepções de ensino predominantes em um determinado país ou região, mas também sobre as concepções de ciência, sobre o processo de aceitação/refutação de determinado conceito ou teoria ou, até mesmo, para investigações mais profundas sobre a dependência intelectual. O aprofundamento dessas reflexões, porém, constitui tema para outras jornadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)* e ao *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)* pelo financiamento à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACS – AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. The Reed College conference on the teaching of chemistry, *Journal of Chemical Education*, **35** (2): 54-55, 1958.

- ALVES, M. M. *Beabá dos MEC-USAID*. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.
- ASH, M. G. Disziplinentwicklung und Wissenchaftstransfer. Psychologen in der Emigration, n. 7, p. 207-226, 1984. In: FANGERAU, H.; MÜLLER, I. National Styles? Jacques Loeb's analysis of German and American science aroun 1900 in his correspondence with Ernst Mach. *Centaurus*, **47** (3): 207-225, 2005.
- BRAM, G.; ANH, N. T. The difficult marriage of theory and French organic chemistry in the 20th century. *Journal of Molecular Structure*, **424**: 201-206, 1998.
- CHOPPIN, A. *Conferência de abertura*. In: *SIMPÓSIO INTERNACIONAL LIVRO DIDÁTICO: EDUCAÇÃO E HISTÓRIA*, 9, 2007, São Paulo.
- CORRÊA, R. L. T. O livro escolar como fonte de pesquisa em História da Educação. *Cadernos CEDES*, **20** (52): 11-23, 2000.
- DUNBAR, R. E. Changing concepts of major topics in college general chemistry textbooks. *Journal of Chemical Education*, **17** (8): 370-373, 1940.
- FANGERAU, H.; MÜLLER, I. National Styles? Jacques Loeb's analysis of German and American Science aroun 1900 in his correspondence with Ernst Mach. *Centaurus*, **47** (3): 207-225, 2005.
- GÓMEZ-IBÁÑEZ, J. D. Basic courses in chemistry. *Pure and Applied Chemistry*, **31** (3): 361-366, 1972.
- HALL, Nina *Neoquímica: a química moderna e suas aplicações*. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- HALLEWELL, L. *O livro no Brasil: sua história*. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2005.
- HAMMOND, G. S. Restructuring of chemistry and chemical curricula. *Pure and Applied Chemistry*, **22** (1): 3-16, 1970.
- HAMMOND, G. S.; NYHOLM, R. The structure of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **48** (1): 6-13, 1971.
- HARWOOD, J. National styles in science: genetics in Germany and the United States between the Worls Wars. *Isis*, **78** (3): 390-414, 1987.
- HAUSER, E. A. This nation will need more chemists after the war. *Journal of Chemical Education*, **20** (10): 513, 1943.
- MOORE, W. C. Industry's interest in the Professional training of chemists'. *Journal of Chemical Education*, **18** (12): 576-580, 1941.
- MURPHY, W. J. Chemistry and chemical engineering curricula in the postwar era. *Journal of Chemical Education*, **24** (8): 376-379, 1947.
- NICHOLSON, D. G. Trends: What's happening to descriptive inorganic chemistry? *Journal of Chemical Education*, **33** (8): 391-392, 1956.
- NOVAK, M. S. J. *Política de ação afirmativa: a inserção dos indígenas nas universidades públicas paranaenses*. 2007. 139 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Maringá, 2007.
- NYE, M. J. National styles? French and english chemistry in the nineteenth and early twentieth centuries. *Osiris*, **8**: 30-49, 1993.
- OHLWEILER, O. A. *Introdução à química geral*. 1a. ed. Porto Alegre: Globo.
- OLIVEIRA, J. B. A.; GUIMARÃES, S. D. P.; BOMÉNY, H. M. B. *A política do livro didático*. São Paulo: Summus, 1984.
- PAULA, M. F. A formação universitária no Brasil: concepções e influências. *Avaliação*, **14** (1): 71-84, 2009.

- PAULING, L. *Química geral*. 2a. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico.
- PERALES, F. J.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones em la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciências*, **20** (3): 369-386, 2002.
- du PONT, E. F. What industry expects of its chemists. *Journal of Chemical Education*, **14** (6): 265, 1937.
- QUILL, L. L. The revision of chemistry and chemical engineering curricula - Introductory remarks. *Journal of Chemical Education*, **24** (8): 369-370, 1947.
- QUINTANEIRO, T. O mercado farmacêutico brasileiro e o esforço de Guerra norte-americano. *Estudos Históricos*, **29**: 141-164, 2002.
- RAKESTRAW, N. W. Chemical education – Then and now. *Journal of Chemical Education*, v. 35, n. 1, p. 18---20, 1958.
- REINGOLD, N. The peculiarities of the American or are there national styles in sciences? *Science in Context*, 4 (2): 346-366, 1991.
- REIS FILHO, C. Transplante da educação européia no Brasil. *Revista Brasileira de História da Educação*, **3**: 115-129, 2002.
- RHEINBOLDT, H. “A química no Brasil”. In: Azevedo, F. (ed.) *As ciências no Brasil*, vol. II. São Paulo: Melhoramentos, 1955.
- RIBEIRO, M. L. S. *História da educação brasileira: a organização escolar*. 4. ed. São Paulo: Moraes, 1982.
- RINENART, H. W. Educating for industry’s needs. *Journal of Chemical Education*, **24** (8): 386, 1947.
- ROBERTSON, G. R. Jobs for graduates in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 17 (6): 386, 1940.
- SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. Influências histórico-culturais nas representações sobre as estações do ano em livros didáticos de ciências. *Ciência e Educação*, **10** (1): 101-110, 2004.
- SOUZA, K. A. F. D.; MATE, C. H.; PORTO, P. A. História do uso do livro didático universitário: o caso do Instituto de Química da USP. *Enseñanza de las Ciencias*, **número extra**, 2009.
- STRONG, L. E.; BENFEY, O. T. Chemical concepts and the college chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, **35** (4): 164-167, 1958.
- SCHWARTZMAN, S. *Formação da comunidade científica no Brasil*. São Paulo: Nacional, 1979.
- TAMRES, M.; BAILARD, Jr. J. C. The course in general chemistry. *Journal of Chemical Education*. **29** (5): 217-219, 1952.
- TOTA, A. P. *O imperialismo sedutor: a americanização do Brasil na época da segunda guerra*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000, 235p.
- WHITE, A. H. Chemical industry and the curriculum. *Journal of Chemical Education*. **8** (10): 2016-2022, 1931.
- WILLARD, F. W. What industry wants of its chemists. *Journal of Chemical Education*, **14** (6): 263, 1937.

VI. FORMAÇÃO DE PROFESSORES E CURRÍCULO

HISTORIA DE LA CIENCIA EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL DOCENTE. APORTES Y DEBATES PARA LA ENSEÑANZA DE LA ELECTROQUÍMICA

Johanna Camacho González*

Mercé Izquierdo**

Núria Solsona**

Resumo: Esta investigación presenta un modelo de formación profesional docente basado en la Historia de la Ciencia para la enseñanza de la química, que fue desarrollado en el contexto de los proyectos FONDECYT 1070795 y FONDECYT 1095194 en la Pontificia Universidad Católica de Chile. El Modelo de formación se fundamenta en la visión naturalista pragmática de la ciencia (Toulmin, 1977) y en los aportes de la Historia de la Ciencia a la Enseñanza (Matthews, 1994). El objetivo de esta investigación fue comprender cómo cambian las concepciones de dos docentes de química, sobre Historia de la Ciencia a través de un modelo de intervención-formación docente. Los principales resultados demuestran que a través de un proceso de formación basado en la Historia de la Ciencia es posible innovar y contribuir favorablemente a la enseñanza de la teoría electroquímica, así como generar espacios metacognitivos en el profesorado que permiten superar la visión tradicional de ciencia y su enseñanza.

Palavras-chave: Historia de la electroquímica, perfil conceptual, estudio de caso, profesorado de química

HISTORY OF SCIENCE IN TEACHER TRAINING CONTRIBUTIONS AND DISCUSSIONS TO TEACH ELECTROCHEMISTRY

Abstract: The purpose of the present investigation is to develop a proposal for teaching chemistry through the history of science to be applied in teacher's formation, as part of the FONDECYT projects, 1070795 and 1095194 at Pontificia Universidad Católica de Chile. This proposal of teacher's formation is supported by the pragmatic and natural view of science (Toulmin, 1977), and history of the science in science teaching (Matthews, 1994). The main results show that in a training process based on the history of science it is possible to innovate and contribute positively to the teaching of the electrochemical theory, as well to generate metacognitive skills in teachers that allow to overcome the traditional view of science and teaching.

Key-words: History of electrochemistry, conceptual profiles, collective case study, chemistry teachers.

* Universidad de Chile. Av. Capitán Ignacio Carrera Pinto 1025, Ñuñoa. Santiago, Chile. jpcamacho@uchile.cl

** Universidad Autónoma de Barcelona, España

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe consenso en asumir como un reto prioritario la formación docente orientada hacia un perfil profesional que le permita tomar decisiones para desempeñar su práctica. No obstante, se ha identificado como un obstáculo importante las concepciones que tiene el profesorado sobre ciencia, sus métodos y naturaleza, que aún son de carácter tradicional lo que conlleva a una imagen de ciencia descontextualizada y a histórica que da poco énfasis a las dimensiones sociales, valóricas, culturales y creativas de la ciencia (Matthews, 1994).

A partir de estos antecedentes se propone un modelo de intervención-formación docente basado en la Historia de la Ciencia para la enseñanza de la Electroquímica, cuya característica fundamental fue problematizar la construcción de conocimiento química con fines didácticos, de tal manera de establecer nuevas estrategias didácticas que favorezcan el cambio en las concepciones y la práctica del profesorado, además de promover acciones educativas que permitan el desarrollo de competencias científicas. Este modelo de intervención fue desarrollado con dos docentes de química y se implementó durante la enseñanza de la teoría electroquímica en la Educación Media Chilena. Además, hizo parte de una investigación mas profunda a través de un estudio de caso (Camacho, 2010).

2. HISTORIA DE LA CIENCIA EN LA ACTIVIDAD QUÍMICA ESCOLAR

Los propósitos de la actividad química escolar, están relacionados con la formación de personas competentes en química que sepan acerca y sobre la química. Así, esta actividad debe establecer una imagen de ciencia menos dogmática y más relacionada con la actividad de hombres y mujeres para la resolución de sus problemas cotidianos. Entonces, la actividad química escolar se puede desarrollar a través de *situaciones problemáticas científicas escolares* (SPCE) (Camacho, 2010) susceptibles de evaluar y discutir en la clase de química. Dichas *situaciones problemáticas*, pueden caracterizarse, por ser problematizadoras, auténticas y similares a situaciones que se desarrollan en los contextos científicos reales. También, deben ser significativas para el estudiantado que aprende; relevantes para la disciplina científica que se enseña; promover procesos reflexivos y que sean factibles de ser enfrentados por los estudiantes a través de procesos de *modelización científica* (De Jong & Treagust, 2002).

El objetivo de la incorporación de la Historia de la Ciencia en la actividad química escolar, no consiste en transformar al estudiantado o docentes en historiadores de la ciencia. Sino que se orienta a promover y desarrollar Competencias de Pensamiento Científico, que permitan un conocimiento y comprensión sobre la actividad química (Camacho, 2010). Mediante la lectura e interpretación de fuentes primarias; la réplica de experimentos; la propuesta de debates históricos en el aula entre otras actividades; el estudiantado es capaz de comprender cómo se construye el conocimiento científico; cómo se elaboran las explicaciones científicas; explicar por qué una teoría científica se desarrolló con más éxito que otra; qué hizo posible que evolucionará dicho conocimiento; cómo era el contexto en el que se desarrolló y cómo influyó ese nuevo conocimiento en dicho momento; cómo se enfrentaban las personas a los problemas teóricos, experimentales y profesionales; cómo argumentaban sus ideas científicas; qué instrumentos disponibles hicieron posible el desarrollo y consolidación de

determinados conceptos; qué les permitieron concluir en su momento; cómo estas son evaluadas por las comunidades de especialistas, entre otros aspectos relacionados con la ciencia y el género, la cultura material, la socialización y popularización de la ciencia, etc. Estos aspectos según Gooday *et al.* (2008), son probablemente más eficaces que simplemente aprender y reproducir el contenido de libros de texto de ciencias y las rutinas de laboratorio, ya que permite apreciar el carácter incompleto y falibilidad de los modelos y teorías, así como una comprensión amplia que caracterizan la complejidad de cómo la ciencia cambia, modificando la imagen estática que muestran los libros de texto.

3. TENDENCIAS Y OBSTÁCULOS EN LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA TEORÍA ELECTROQUÍMICA

La electroquímica se ha caracterizado como una de las temáticas más complejas de enseñar y aprender en la química escolar; tradicionalmente la enseñanza de este concepto químico en las aulas y a través de los libros de texto según De Jong & Treagust (2002) ha estado dividido en los procesos de oxidación-reducción y las pilas electroquímicas o celdas galvánicas. Además, existe poca evidencia empírica, comparada con otras temáticas químicas, que relacionen las dificultades de aprendizaje del estudiantado, señalen los principales obstáculos en la enseñanza y presente nuevas propuestas de innovación en el aula. De Jong & Treagust (2002) señalan con respecto a las dificultades de las reacciones de oxidación-reducción los siguientes aspectos: *conceptuales* entorno a la dependencia mutua de las reacciones de oxidación-reducción, el significado del número de oxidación, el proceso de transferencia de electrones, la carga del ánodo y el cátodo en las pilas electroquímicas; así como en *procedimentales*, en relación a la identificación de reactantes como agentes oxidantes o reductores, de ecuaciones químicas en términos de oxidación-reducción. En cuanto a las dificultades relacionadas con las pilas electroquímicas desde una perspectiva *procedimental*, proponen la dificultad de predecir los productos y la magnitud de diferentes potenciales en las celdas galvánicas, y desde lo *conceptual*, se señalan los obstáculos que existen para comprender la conducción de la electricidad, la neutralidad eléctrica en la electricidad, identificar el ánodo y cátodo en una pila y sus respectivas cargas.

La complejidad de la enseñanza y aprendizaje de la electroquímica radica entre otras cosas en el uso de múltiples definiciones y modelos, los cuales están relacionados con la propia evolución de los diferentes conceptos científicos. Y también en las prácticas experimentales asociadas, provenientes de diferentes áreas científicas como la fisiología, física, la química y la matemática. Además, del componente instrumental y algorítmico, al cual muchas veces se reduce su enseñanza, favoreciendo así actividades hacia la memorización de los números de oxidación; el balanceo de ecuaciones y la resolución de ejercicios cuantitativos, con una débil comprensión conceptual.

4. PROPUESTA DESDE LA HISTORIA DE LA CIENCIA PARA LA ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA ELECTROQUÍMICA

A partir de los antecedentes descritos anteriormente, es posible considerar que una visión historiográfica y Didáctica de la Teoría Electroquímica, puede contribuir favorablemente al diseño de una nueva propuesta problematizadora, innovadora y auténtica. Así, se propuso un

modelo de intervención - formación docente, cuya característica principal fue centrarse en la reflexión y práctica para problematizar y reformular esquemas y concepciones que subyacen acerca de la ciencia y su enseñanza (Astudillo et al, 2008). A través de diversas actividades secuenciadas, se promovieron instancias metacognitivas en donde el profesorado pensaba alternativamente como persona que aprende y que enseña. Las actividades propuestas, se caracterizaron por hacer explícita el interés e importancia de incorporar el componente histórico a través de una variedad de estrategias como lectura de artículos de investigación e innovación que relacionaban la Historia de la Ciencia con la actividad química escolar; discusión sobre las ventajas y desventajas de incorporar dicho componente a partir de la literatura especializada y sus experiencias en el aula; diseño e implementación de una secuencia Didáctica para la enseñanza de la electroquímica; evaluación de las producciones estudiantiles; análisis, reflexión y evaluación de sus prácticas y autoevaluaciones.

El modelo de intervención se desarrollo a través de cuatro fases que se asumieron desde una visión dinámica que iban desde una perspectiva macro hasta lo micro, relacionado los distintos planos de desarrollo (Labarrere & Quintanilla, 2002), la concepción de ciencia desde el racionalismo moderado y la noción de Historia de la Ciencia como componente metacientífico complejo que aporta a la actividad química escolar. A continuación, se describe cada una de las fases desarrolladas.

Fase I. Diagnóstico

Durante esta primera fase se tuvo como objetivo identificar y caracterizar cuáles eran las concepciones del profesorado de química acerca de Historia de la Ciencia. Esta fase se desarrolló en dos partes, un cuestionario Tipo Likert (Quintanilla & Adúriz-Bravo, 2006), que se aplico a 32 docentes y un cuestionario abierto sobre las estrategias, ventajas y desventajas de incorporar la Historia de la Ciencia en la actividad química escolar, en el que participaron 8 docentes. Algunos resultados de esta fase demostraban la poca formación en Historia de la Ciencia y el desconocimiento de la relación Historia - Didáctica de la Ciencia (Camacho & Quintanilla, 2009). Mediante un muestreo teórico, se seleccionaron 4 docentes (3 mujeres y 1 hombre) para trabajar la Fase II.

Fase II. Fundamentación Teórica

En este curso participaron 4 docentes, pero sólo se tienen en cuenta para el análisis propuesto 2 docentes (1 hombre y 1 mujer) quienes constituyeron el estudio de caso. Emilio, Profesor de Química e Ingeniero Químico, era mayor de 40 años y tenía más de 10 años de experiencia docente. Él hacía clases en un colegio particular subvencionado de Química, Biología, Física y Ciencias Naturales, era el único del área en el Colegio. Caroline, profesora de Química y Magíster en Educación con especialidad en Evaluación, trabajaba hace más de 20 años, de sus 50 años de vida, en un colegio particular pagado, donde era la jefe del área de Ciencia. Estos casos son representativos del profesorado chileno de ciencias, quienes tienen una edad mayor de 40 años y cuentan con más de 10 años de experiencia, según antecedentes de la OCDE (2006).

Los resultados anteriores conllevaron a proponer un *Curso Taller sobre Historia de la*

Ciencia y Formación Docente que se desarrollo durante 10 sesiones o Talleres de Reflexión Docente (TRD) de 120 minutos cada uno.

La fase de fundamentación teórica se desarrollo durante los TRD01-TRD04, con el objetivo de consensuar una visión historiográfica para la actividad química escolar y comprender el aporte de la Historia de la Ciencia desde lo conceptual, procedimental y contextual. En estas sesiones se discutió acerca de las finalidades y obstáculos de la Historia de la Ciencia en la actividad química escolar, a partir de sus percepciones y de investigaciones desde el campo de la Didáctica de las Ciencias; la noción teórica de Historia de la Ciencia y las diferentes visiones historiográficas (anacrónica, diacrónica, recurrente); la relación entre Historia y Naturaleza de la Ciencia; el papel de los materiales y actividades bajo este enfoque y finalmente, se abordó el tema de las mujeres científicas y su influencia en el desarrollo de la Historia de Ciencia.

Fase III. Diseño Didáctico de una Unidad Didáctica

Esta tercera fase, tuvo como objetivo elaborar un diseño fundamentado desde la Didáctica de las Ciencias y la Historia de la Ciencia para la enseñanza de la electroquímica. A través de las sesiones TRD05 – TRD06 se discutió sobre la noción a enseñar de electroquímica, para ello se hizo una revisión historiográfica de la Historia de la Electroquímica entre 1800 a 1853 a partir de los textos de Marcet (1817-1853). También, se tuvo en cuenta los aspectos conceptuales que destaca Grapí (2006), para la enseñanza de la electroquímica desde la Historia de la Ciencia. A partir de estos antecedentes se realizó una evolución conceptual, descrita en la Tabla 1.

En las siguientes sesiones TRD07 y TRD08, la discusión y el análisis se centro en el diseño de la Unidad Didáctica *“Teoría electroquímica en la educación media. Una propuesta didáctica fundamentada en la Historia de la Ciencia”* (Camacho *et al.*, 2010) en donde se presenta una secuencia didáctica de actividades según el ciclo constructivista de aprendizaje, esta unidad se resume en la tabla 2.

Fase IV. Implementación y Evaluación

En los talleres finales TRD 09 TRD 10, se analizo la implementación de la unidad didáctica a través de la Observación de Clases (OBSC) y algunas producciones del estudiantado, con el fin de discutir con profesorado participante las ventajas y desventajas de la incorporación de la Historia de la Ciencia en la enseñanza- aprendizaje de la electroquímica.

Tabla 1. Evolución Conceptual de la Teoría Electroquímica entre 1800 a 1853.

Período	Evento Importante	Conceptos relevantes sobre electroquímica	Conceptos relevantes sobre la actividad química
1791	Galvanismo	Producción de la electricidad a través de procesos naturales	Relación de la química con otras áreas del conocimiento (Fisiología)
1800	Construcción de la Pila de Volta	Producción de la electricidad a través de procesos artificiales	Valor e importancia de los instrumentos científicos
1806	Primera edición de <i>Conversations on Chemistry</i>	Relación entre electricidad y cambio químico	Divulgación y enseñanza de la química
1806	Conferencia de H. Davy <i>Acerca de algunos agentes químicos de la electricidad</i>	Polarización de las sustancias Descomposición química a través de la electricidad	Evolución y desarrollo del concepto de elemento química
1810	Lectura por Faraday de <i>Conversations on Chemistry</i>	Estudio del cambio químico	Contexto social y personal en la construcción de conocimiento
1811	Teoría Dualista de J.J. Berzelius	Coexistencia de dos partes (polos) positiva y negativa en cualquier átomo Atracción y repulsión que ejercen los polos sobre las sustancias químicas (Afinidad química)	Distinción y debate sobre la química orgánica e inorgánica
1817	Aparición de la Lectura sobre los agentes químicos de la electricidad en <i>Conversations on Chemistry</i>	Relación entre galvanismo y electrólisis a través de la Pila de Volta	Mujeres científicas en la construcción de conocimiento científico
1832	Propuesta de las Leyes de Faraday	Oxidación y reducción Conservación de cargas Cantidad de compuesto químico que se descompone es proporcional a la cantidad de electricidad utilizada	Relación de la química con otras áreas del conocimiento (Matemática-Física)
1836	Construcción de la Pila de Daniell	Carácter oxidante y reductor de las sustancias Reacciones redox	Valor e importancia de los instrumentos científicos
1853	Última versión de <i>Conversations on Chemistry</i>	Relación cuantitativa entre cantidad de sustancia y electricidad Relación entre electricidad y magnetismo	Mujeres científicas en la construcción de conocimiento científico

Tabla 2. Descripción de las actividades de la Unidad Didáctica de Teoría Electroquímica.

Fases	Actividad	Objetivo	Descripción
Exploración de ideas previas	Sobre la acción química de la electricidad	Identificar las ideas previas de los y las estudiantes sobre la relación entre electricidad y cambio químico.	Lectura de “La Conversación sobre los agentes químicos” de J. Marcet (1853), para incorporar la discusión sobre cómo se produce la electricidad y sobre cuál es el rol de las mujeres en el conocimiento científico (Solsona, 2006)
Introducción de nuevos conceptos	Debate Berzelius vs Davy	Explicar cómo se produce una reacción química que origina electricidad y cómo ocurre el proceso de obtención de nuevas sustancias, a partir de la electricidad.	Debate entre dos grupos, quienes defendían una posición y posteriormente, creaban consensos, a fin de comprender cómo se construye la ciencia como actividad humana de consensos y disputas.
Sistematización y Conclusiones	¿Qué competencias hemos desarrollado?	Identificar y caracterizar las competencias científicas trabajadas y hacer una revisión conceptual de los principales aportes acerca de la teoría electroquímica	Evaluación de las producciones de los estudiantes a fin de autorregular sus aprendizajes científicos. Construcción de una línea de tiempo con el fin de evidenciar que el conocimiento científico evoluciona y es complejo, pues depende de muchos factores internos y externos.
Aplicación	Construcción de la Pila de Daniell	Las y los estudiantes explicarán el funcionamiento de la Pila de Daniel y sobre el uso de los diferentes tipos de pilas.	Valor de la réplica de los experimentos en la enseñanza con el fin de comprender las reacciones redox en las pilas y conocer el sentido de la experimentación en la Historia de la Electroquímica (Grapí, 2006)

5. METODOLOGÍA

En esta investigación se optó por el *estudio de casos* como una heurística transparadigmática y transdisciplinar que involucra un cuidadoso delineamiento del fenómeno mediante la evidencia que será recolectada. El estudio de casos se realizó con 2 docentes (Emilio y Caroline) y sus 57 estudiantes.

El plan de análisis se realizó mediante la propuesta de Miles y Huberman (1994), la cual se caracteriza en la complejidad y no linealidad de las actividades propuestas *reducción de datos; organización y presentación de datos y la extracción, interpretación y verificación de conclusiones* (Figura 1). Para efectos de esta investigación se considero una tarea preliminar, *preparación de datos* y en la última parte como apoyo de la interpretación y verificación de conclusiones, se realizó una triangulación metodológica por métodos, a fin de levantar conclusiones más robustas.

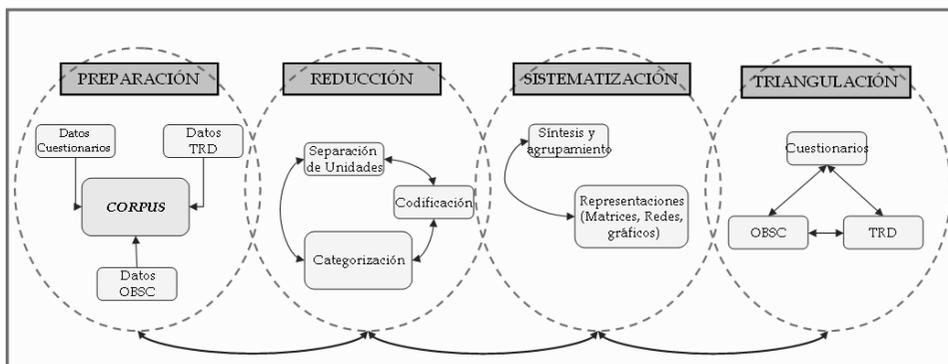


Fig. 1. Plan de Análisis de Datos Cualitativos.

La interpretación de los datos se realizó a través de matrices, las cuales recibieron el nombre de perfil conceptual, es decir un esquema que representa las distintas formas de pensar y hablar que puede tener el profesorado, el cual puede ser utilizado según determinado contexto, como señala Mortimer (1995). La *interpretación y conceptualización* se realizó según los tipos de contenido (Wang & Petersen, 2002); los planos de desarrollo de pensamiento (Labarrere & Quintanilla, 2002); las dimensiones de las competencias de pensamiento científico (Quintanilla, 2006) y los aspectos conceptuales desde el racionalismo moderado (Toulmin, 1977; Izquierdo, 2005). Este análisis permitió una interpretación conceptual desde diferentes niveles relacionados entre sí para dar cuenta sobre cuál es el perfil conceptual del profesorado y cómo este perfil cambia en una u otro nivel a través del proceso de intervención. Finalmente, se realizó una *triangulación metodológica* por métodos.

6. RESULTADOS

6.1 El Perfil de Caroline: Conceptos en contexto.

En la fase de diagnóstico, este perfil se caracteriza por la importancia que tiene la incorporación de la Historia de la Ciencia para comprender los modelos teóricos desde el contexto sociocultural, en la clase de química. Durante la fase de implementación teórica en donde se discuten una noción de la Historia de la Ciencia, se evidencia que los modelos teóricos, hacen referencia en particular a lo conceptual, lo cual puede contribuir favorablemente entender los conocimientos científicos y cómo se construyen. Además, Caroline manifiesta la importancia de incorporar la Historia de la Ciencia en los currículos de Química, a fin de tener en cuenta los aspectos socio culturales en los cuáles surgen los conceptos científicos. En particular, este aspecto se señala a tener en cuenta en un primer momento de la secuencia didáctica, con el ánimo de motivar al estudiantado.

Desde esta perspectiva y de acuerdo con la perspectivas de Wang & Marsh (2002), se define el perfil de la profesora Caroline como una mirada de los conceptos en contextos socio culturales específicos. Es decir, la incorporación de la Historia de la Ciencia en la enseñanza de la electroquímica, permite conocer cómo se construye conocimiento científico, poniendo

principal énfasis cómo los conceptos cambian según el contexto socio cultural. Es importante mencionar, que sí bien se relaciona la Historia de la Ciencia con la construcción de conocimiento científico, no hay evidencia que permita sustentar que esta construcción es problemática en relación con la naturaleza de la ciencia.

6.2 El Perfil de Emilio: Cómo lo uso.

Al respecto del perfil conceptual en el caso de Emilio, este sólo se manifiesta acerca del aporte de la historia de la ciencia y la necesidad de saber cómo hacerlo en el aula, cuáles son las acciones que debo seguir.

Los aspectos de estrategias para trabajar la Historia de la Ciencia en el aula y la formación docente, fueron considerados por el profesor durante todas las fases de la investigación desde la perspectiva instrumental, es decir relacionando sólo los contenidos procedimentales, desde el plano instrumental operativo, el saber hacer y las técnicas de representación, una mirada de incorporar nuevos aspectos en el aula, sin una regulación y reflexión didáctica. Para el profesor Emilio la Historia de la Ciencia en la enseñanza de la química a través del currículo y de las estrategias que se pueden trabajar esta reducida a lo instrumental, es decir a aplicar estrategias, materiales, aprender cómo aplicarlo y esperar a que el currículo instauré dichas directrices para acogerlas.

Sí bien su perfil estuvo en general relacionado con la parte instrumental, en la última fase de investigación, él empezó a considerar aspectos que evidenciaban la incorporación de la Historia para promover la comprensión conceptual y contextual, así como para permitir dar significado a la persona que aprende química. Esto se evidencia en particular con su actuar docente en el aula, lo que puede dejar en evidencia la problematización del perfil en el aula y la necesidad de mayores espacios metacognitivos que favorezcan la reflexión en y sobre la práctica y que permitan continuar hacia un segundo nivel según Sánchez y Várcacel (2000), sí bien este estudio de promovió la motivación, dinamización, problematización de la noción de Historia de la Ciencia en la Enseñanza de la Electroquímica, es necesario generar otras acciones que permitan que los docentes tengan un nivel mayor de implicación al respecto y que les permita problematizar sus perfiles conceptuales.

6.3 Resultados del estudio de casos colectivo

En el caso de Emilio se observó un carácter fuertemente instrumental de la Historia de la Ciencia y sus componentes, aspectos que en principio eran comunes en los dos casos. Sin embargo, Caroline tuvo un cambio importante hacia concepciones más contextuales dando gran valor de este componente para la construcción de modelos teóricos y para la comprensión de contenidos conceptuales, los cuales en particular para la teoría electroquímica, se identifican como obstáculos en la enseñanza y aprendizaje. Además, de proponer nuevas relaciones entre el currículo y la historia de la ciencia, más que la reducción de la actividad científica escolar sólo a la aplicación de materiales que incorporen el componente historiográfico.

En general queda en evidencia que la incorporación del componente histórico en la enseñanza de la química, el estudio de caso en cuestión, se realiza de manera ingenua, sí bien se manifiesta una preocupación por saber cómo (saber hacer) incorporar este componente historiográfico en el aula, se evidencia que existe un desconocimiento en general por

relacionar el componente histórico de la química con la didáctica de las ciencias experimentales, lo que conlleva a que los perfiles sean orientados hacia contenidos contextualizados o perspectivas instrumentales.

7. CONCLUSIONES

Acerca de las concepciones del profesorado de química sobre la Historia de la Ciencia, la evidencia sistematizada da cuenta de una relación con el contenido contextual, lo que ya han señalado otras investigaciones (Wang & Marsh, 2002; Wang & Petersen, 2002) y además, que éstas se sitúan desde el plano social comunicativo. El profesorado participante en la fase de diagnóstico, en general valora el aporte de la historia de la ciencia y lo reconoce como un aspecto importante a incorporar en la actividad química escolar. Sin embargo, dichas concepciones a favor, se ven matizadas por lo que propone Monk & Osborne (1997) acerca de asumir este componente en función de los productos de la ciencia y la visión instrumental de la actividad científica.

En general queda en evidencia que la incorporación del componente histórico en la enseñanza de la química, para la mayoría del profesorado que participó en la fase de diagnóstico se realiza de manera ingenua, sí bien se manifiesta interés por incorporar la historia de la ciencia en la actividad científica no hay fundamentación didáctica. Al respecto se proponen dos posibles argumentos, según la literatura especializada, uno que corresponde al desconocimiento o poca existencia de materiales con finalidades didácticas, en especial para niveles escolares lo que ha sido manifestado por Álvarez (2006) y Chamizo (2007) y segundo, a la poca formación del profesorado en esta área lo que se sustenta desde las investigaciones de Izquierdo, Quintanilla, Vallverdú y Merino (2006), Matthews (2009), Monk & Osborne (1997) y Rudge & Howe (2009).

Durante el desarrollo del modelo de intervención en particular durante la fase de diseño de la unidad didáctica, Emilio y Caroline dejan en evidencia a través de su discurso, la dificultad que tienen de diseñar materiales que incorporen la historia de la ciencia, por lo que este aspecto se constituye en fundamental a la hora de tratar de incorporar la historia en la enseñanza de la electroquímica. Así sus concepciones se sitúan más desde lo instrumental, como Monk & Osborne (1997) que señalan centrarse hacia los productos de la ciencia y no a generar espacios para la construcción de conocimiento científico escolar, esto según sus propias afirmaciones se debe a que tradicionalmente han enseñando la teoría electroquímica desde la descripción de los procesos de oxidación-reducción, la memorización de los números de oxidación, el balanceo de ecuaciones redox y la resolución de problemas según la Ley de Faraday, manera que caracteriza generalmente la enseñanza de esta teoría química (De Jong & Treagust, 2002).

No obstante esta dificultad, en la fase de diseño, se observó un cambio importante en las concepciones de Emilio y Caroline durante la fase de implementación – evaluación las cuales, según la evidencia sistematizada, transitaron hacia la comprensión conceptual de los modelos teóricos, hecho que es coherente con los antecedentes citados por Niaz (2009) y García (2009).

Así se pone de manifiesto que la formación del profesorado en Historia de la Ciencia propone no sólo una nueva mirada hacia las estrategias que incorporan este componente en el aula, sino que además, permite generar nuevas relaciones en la actividad química escolar tal como fue señalado por Emilio y Caroline durante la fase de fundamentación teórica e implementación- evaluación, en donde ambos demostraron la posibilidad de integrar contenidos curriculares, el trabajo transversal

con otras áreas del conocimiento, la promoción de competencias de pensamiento científico, entre otros aspectos declarados por la literatura especializada (Matthews, 1994; Solbes y Traver, 2001; Monk & Osborne, 1997; Rudge & Howe, 2009) los cuales permiten hacer de esta línea una perspectiva nueva que implica formación docente, requiere investigación y promueve la innovación y transformación de la actividad química escolar.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Organizador de 1° IHPST-LA por el apoyo financiero.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, Mari. La Historia de la ciencia en la formación del profesorado de ciencias naturales. Pp. 239-256, in: QUINTANILLA & ADÚRIZ-BRAVO (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio*. Santiago, Chile: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006.
- ASTUDILLO, C. RIVAROSA A. & ORTIZ, F. El discurso en la formación de docentes de ciencias. Un modelo de intervención. *Revista Iberoamérica de Educación* **45** (4): 1-14, 2008.
- CAMACHO, Johanna. *Concepciones del profesorado y promoción de la explicación científica en la actividad química escolar. Aportes de un modelo de intervención desde la historia de la ciencia para la enseñanza de la electroquímica*. Santiago, 2010. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Educación) - Pontificia Universidad Católica de Chile.
- CAMACHO, Johanna; ZANOCCO, G.; MIRANDA, O.; ASTUDILLO, C.; FRÍAS, A. Teoría electroquímica en la educación media. Una propuesta didáctica fundamentada en la Historia de la Ciencia. Pp. 139-157, in: QUINTANILLA, Mario; DAZA, S. & MERINO, C. (comp.). *Su contribución a las competencias de pensamiento científico. Volumen III*. Santiago de Chile: Ediciones GRECIA, 2010.
- CAMACHO, Johanna & QUINTANILLA, Mario. Concepciones de los profesores de química sobre naturaleza de la ciencia e historia de la ciencia. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 8, 2009, Barcelona. *Enseñanza de las Ciencias Número Extra*: 458-461, 2009.
- CHAMIZO, Jose. Teaching Modern Chemistry through 'Recurrent Historical Teaching Models'. *Science & Education* **16** (2): 197-216, 2007.
- DE JONG, Onno & TREAGUST David F. The teaching and learnig of electrochemical. Pp. 317-337, in: GILBERT, John K.; DE JONG, Onno; JUSTI, Rosária; TREAGUST, David F. & VAN DRIEL, Jan H. (eds.). *Chemical Education. Towards Research based practice*. Netherlands: Kluwer Academia Publishers, 2002.
- GARCÍA, Á. Aportes de la historia de la ciencia a la formación permanente del profesorado universitario. Un caso en el área de la fisicoquímica. In: CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 8, 2009, Barcelona. *Enseñanza de las Ciencias Número Extra*: 1685-1688, 2009.
- GOODAY, Graeme; LYNCH, Jonh; WILSON, Kenneth; BARSKY, Constance. Does Science Education Need the History of Science? *Isis* **99**: 322-330, 2008.
- GRAPÍ, Pere. L'electrificació de la química al Segle XVIII. Una xarxa de guspipes. Actes d'història de la ciència i de la tècnica. *Nova Època* **1** (1): 65-74, 2006.

- IZQUIERDO, Mercé; VALLVERDÚ, Jordi; QUINTANILLA, Mario & MERINO, Cristian. Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II. *Alambique* **48**: 78-91, 2006.
- IZQUIERDO, Mercé. Com fer problemàtiques els problemes que no en són proa. Noves temàtiques per als problemes de química. Pp. 45-52, in: IZQUIERDO, Mercé. (ed.). *Resoldre problemes per aprendre*. Bellaterra, España: Universitat Autònoma de Barcelona, 2005.
- LABARRERE, Alberto & QUINTANILLA, Mario. La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo* **30**: 121-137, 2002.
- MARCEY, Jane. *Conversations on chemistry in which the elements of that science are familiarly explained and illustrated by experiments*. London: Longman, Brown, Green & Longmans, 1853. 1 vol.
- MATTHEWS, M. Science and Worldviews in the Classroom: Joseph Priestley and Photosynthesis. *Science & Education* **18** (2): 929 – 660, 2009.
- . *Science Teaching. The Role of History and Philosophy Science*. New York: Routledge, 1994.
- MILES, Matthew & HUBERMAN, A. M. *An expanded sourcebook Qualitative Data Analysis*. USA: SAGE, 1994.
- MONK, Martin. & OSBORNE, Jonathan. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education* **81** (4): 405-424, 1997.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education* **4** (3): 267-285, 1995.
- NÍAZ, M. Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversias. *Science & Education* **19** (1): 43-65, 2009.
- OCDE. PISA. *Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemática y Lectura*. París: Francia, 2006.
- QUINTANILLA, Mario. Identificación, caracterización y evaluación de competencias de pensamiento científico desde una imagen naturalizada de la ciencia. Pp. 18-42, in: QUINTANILLA & ADÚRIZ-BRAVO (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y desafíos*. Santiago, Chile: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006.
- RUDGE, D. & HOWE, E. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education* **18** (5): 561-580, 2009.
- SÁNCHEZ, G.; VALCÁRCEL, M. V. ¿Qué tienen en cuenta los profesores cuando seleccionan el contenido de enseñanza? Cambios y dificultades tras un programa de formación. *Enseñanza de las Ciencias*, **18** (3): 423-437, 2000.
- SOLBES, J. & TRAVER, M. Resultados obtenidos introduciendo historia de las ciencias en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias* **19** (1): 151-162, 2001.
- SOLSONA, Núria. Las Mujeres en la Historia de la Ciencia. Pp. 37-63, in: QUINTANILLA y ADÚRIZ-BRAVO (eds.). *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y desafíos*. Santiago, Chile: Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile, 2006.
- TOULMIN, S. *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de conceptos*. Madrid: Alianza Editorial, 1977. 1 vol.

WANG, H. & MARSH, D. Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms. *Science & Education* **11** (2): 169-189, 2002.

WANG & PETERSEN. A Comparison of Elementary, Secondary and Student Teachers' Perceptions and Practices Related to History of Science Instruction. *Science & Education* **11** (1): 69-81, 2002.

HACIA UNA RECONSTRUCCIÓN DEL CURRÍCULO DE LA QUÍMICA

José Antonio Chamizo*
Andoni Garritz*

Resumen: *Se propone una reconstrucción del currículo de química que se enseña de igual manera, prácticamente en todo el mundo, una vez que éste, al ser una acumulación de experimentos, leyes, conceptos y teorías ha perdido la dimensión humana de la disciplina. Se discute que fue a partir de la entronización del Circulo de Viena y de la filosofía lógico-positivista, en la primera mitad del siglo XX, como la única manera de abordar la filosofía de la ciencia que se consolidó esta situación. Asimismo se aborda el fracaso relativo de la postura de Ciencia-Tecnología-Sociedad para remediarlo. Finalmente se propone una revisión de las bases filosóficas de la química desde las cuales pueda reconstruirse el currículo de manera más coherente.*

Palabras clave: *filosofía, currículo; química normal; Circulo de Viena; Guerra Fría; Ciencia-Tecnología-Sociedad.*

TOWARDS A RECONSTRUCTION OF THE CHEMISTRY CURRICULUM

Abstract: *A reconstruction of chemistry curriculum is proposed because the usual chemistry curriculum is an accumulation of experiments, concepts, laws and theories that lose the human dimension of the discipline. Normal chemistry education is isolated from common sense, everyday life and society, history and philosophy of science, technology, school physics, and from chemical research. It is explained that this condition is due to the 20st century dominant Vienna Circle positivist philosophy that has enhanced science as a linear chain of successful discoveries that finally became detached of its social and cultural commitments. It is analyzed the relative failure of the Science-Technology-Society approach to recover the chemistry curriculum. It is finally proposed a revision of the philosophical basis of the chemistry curriculum to contemplate a subject matter without "a true" notion, pluralistic and non neutral ethically, that carries justifiable damages but using sustainability as coherence weapon, connected with its supporting actors through history, with inquiry and problem solving as main didactic strategies to accomplish a research-based teaching that can transmit the nature of this fascinating but controversial science.*

Key-words: *philosophy; curriculum; normal chemistry; Vienna Circle; Cold war; Science-Technology-Society.*

*Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria 04510 México D.F.
jchamizo@unam.mx; andoni@unam.mx

1. INTRODUCCIÓN

Al final de la Segunda Guerra Mundial, después de que el ejército soviético había tomado Berlín en marzo de 1945 y Hitler se había suicidado, el presidente norteamericano H. Truman tomó la terrible e innecesaria decisión (una vez que la guerra para todos los fines prácticos estaba concluida, y Japón también había sido derrotado desde la batalla naval de Midway en 1942, contra la marina estadounidense) de arrojar bombas atómicas sobre las ciudades japonesas indefensas de Hiroshima y Nagasaki (Easlea, 1983; García, 1987). Hay suficiente información histórica que demuestra que Japón buscaba rendirse después de que Alemania ya lo había hecho y cuando enfrentaba también al ejército soviético en China (país que había ocupado previamente) y apenas se podía defender de las incursiones aéreas norteamericanas que bombardeaban las ciudades japonesas repetidamente. Ante la amenaza que la bomba atómica representaba para su propia seguridad, el ejército soviético se dedicó a producir la suya propia, lo que alcanzó en 1949 con lo que se concretó lo que se conocería como la Guerra Fría y que duraría, según diversos historiadores, cuarenta años más. En la carrera armamentista los Estados Unidos parecían ir adelante, pero todo cambió cuando en 1957 los soviéticos lanzaron el Sputnik, la primera nave espacial. La conmoción al interior del gobierno de los Estados Unidos fue terrible y afectó de una manera u otra todos los ámbitos sociales, entre ellos los programas de ciencias que se redefinieron en los años sesenta del siglo pasado.

Durante los años cincuenta en los Estados Unidos el macartismo, la persecución inquisitorial de toda persona que pensara diferente de las normas establecidas, se cobró una buena cantidad de víctimas, particularmente entre la comunidad artística y filosófica. Bajo su sombra se redefinieron los currículos de ciencias que miles de personas estudiamos durante la segunda mitad del siglo XX. En el caso de la química ello representó el advenimiento del *ChemStudy* de Pimentel (1963); del *Chemical Bonding Approach* de Strong (1964) y en el reino Unido del *Nuffield Foundation Chemistry Course* (1967), en los que la química descriptiva pasó a mejor vida y entró en su lugar el esquema de “los principios de la química”, mucho más teórico y basado en la fisicoquímica, en particular, en la química cuántica.

2. SOBRE EL CURRÍCULO

Sobre el currículo hay muchas caracterizaciones. Ya desde 1980, Tanner indicó 20 definiciones diferentes. La que nosotros tomamos, modificamos y usamos aquí es:

El currículo es una concreción de un proyecto cultural que se trabaja en un contexto institucional específico y que se modifica individual y colectivamente gracias al trabajo realizado en las aulas y los laboratorios.

Para tener éxito con una propuesta curricular deben atenderse diversos niveles y/o actores: objetivos claros, materiales educativos apropiados, profesores bien capacitados, alumnos dedicados y una posición filosófica coherente a lo largo y ancho de la propuesta.

Hace poco más de una década se publicó el resultado de un largo proceso de investigación en cerca de veinte países consistente en reconocer si había una estructura común en los currículos de química en los diferentes países y en caso de que así fuera, identificar sus orígenes (Chamizo, 2001). El resultado del mismo indicó que:

La educación química normal está aislada del sentido común, de la vida cotidiana, de la sociedad, de la historia y la filosofía de la ciencia, de la tecnología, de la física escolar y de la investigación química actual (van Berkel, 2000, p. 123)

3. SOBRE LA PROPUESTA CTS

Lo anterior, a pesar de los varios proyectos curriculares en los que se cambiaron algunos de los contenidos temáticos por aquellos que parecían tener relevancia en los jóvenes como futuros miembros de la sociedad. Las siglas CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad) sirven para reconocer un movimiento de reforma curricular, que se integró formalmente como una corriente educativa con ese nombre en la década de los años ochenta (Cutcliffe, 1989; Garritz, 1994), o aún antes (Aikenhead, 2003), con una búsqueda de educación científica interdisciplinaria, y una nueva demanda de preparación vocacional.

Tan temprano como en 1971, en la revista *Science Education*, Jim Gallagher propuso un nuevo objetivo para la ciencia escolar, en la que da el mismo valor a la comprensión de las relaciones CTS que a los contenidos netamente científicos:

Para futuros ciudadanos en una sociedad democrática, comprender la interrelación entre ciencia, tecnología y sociedad puede ser tan importante como entender los conceptos y los procesos de la ciencia. (Gallagher, 1971, p. 337)

La *National Science Teachers Association* (NSTA, 1990, pp. 47-48) de los Estados Unidos ha definido al enfoque ciencia-tecnología-sociedad como “la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia en el contexto de la experiencia humana”.

Una definición un poco más extensa del enfoque CTS en la enseñanza es la de Archer (1994) en el prefacio de la obra *Chemistry in Context*:

CTS se basa en el desarrollo de actividades enfocadas hacia ‘la toma de decisiones sobre aspectos sociales del mundo-real que tienen un contenido importante de ciencia y de técnica. El contenido científico se construye sobre una base de necesidad-de-conocer, que también provee al alumno de la capacidad de razonamiento crítico para considerar otros aspectos que serán de importancia en el siglo XXI (Archer, 1994, p. xi).

Como fue planteada inicialmente tanto el nombre como la idea central de esta corriente deriva de una concepción de ciencia más bien estrecha, ya que parece que la ciencia y la tecnología la hacen individuos “fuera” de la sociedad, sin intereses específicos, ni ambiciones particulares. Quiérase o no, la ciencia y la tecnología, así como sus procesos educativos, se desarrollan en contexto. Sobre esto Gilbert (2006, p. 960) ha indicado que la función del contexto es “describir las circunstancias que le dan sentido a las palabras, las frases y las oraciones” y que el contexto es “un evento focal inmerso en un espacio cultural específico”. Considerar que esto es innovador sólo tiene sentido desde una postura filosófica en la que las actividades científicas se asumieron separadas de la sociedad en la que se realizaron y manifestaron culturalmente. Esta postura, la de la tradición heredada de la “lógica positivista”, es la que se ha ido transmitiendo fundamentalmente en los libros de texto convencionales, en los que la ciencia es vista como una acumulación de conocimiento incorporado en un determinado marco teórico y las teorías son entendidas como sistemas

axiomáticos para los cuales pueden aplicarse los métodos de validación del análisis lógico. Aquí la racionalidad es absoluta, el conocimiento científico es universal y ahistórico (Chamizo, 2005). No solo eso, Van Aalsvort (2004) ha indicado que la falta de relevancia de la química en la educación preuniversitaria se debe a su raíz filosófica adquirida del positivismo lógico.

Conociendo o ignorando lo anterior, la *American Chemical Society* lanzó un ambicioso proyecto en la línea CTS denominado *ChemCom* de cuyo paradigmático libro se publicaron millones de ejemplares, desde la primera edición de 1988 hasta la quinta (ACS, 2010) además de impartirse cientos de talleres a profesores en diversos lugares del mundo y alcanzar a cerca del 20% de la matrícula escolar del bachillerato en los Estados Unidos (Ware, 1999). Esta interpretación de la corriente CTS que, de acuerdo con la caracterización de Gilbert (2006) reconoce el contexto como un espacio recíproco entre los conceptos y las aplicaciones, es ya una realidad, digamos “light”, como bien lo enuncia uno de los iniciadores de la misma:

¿Es la propuesta educativa sobre la enseñanza de la ciencia CTS creíble? La literatura de investigación nos presenta dos respuestas claras: desde el punto de vista educativo es sin lugar a dudas creíble, pero políticamente no lo es. Por lo tanto, todos los proyectos futuros CTS que se consideren innovadores tendrán la necesidad de incorporar tanto un componente educativo y un componente político para hacer una diferencia significativa en lo que sucede en una clase de ciencias (Aikenhead, 2005, Pp. 392-393).

A pesar del parcial optimismo de Aikenhead, esta interpretación de la corriente CTS carece de razones evidentes para la selección de eventos focales (que son los que identifican la parte de Tecnología y Sociedad). Ya se ha indicado (Layton, 1993) que el sentido adscrito a un concepto en la ciencia no necesariamente es el mismo cuando se utiliza en la tecnología. Como ejemplo en química se utiliza “agua pura” para designar una sustancia que no contiene otras sustancias, asunto muy diferente al “agua potable” que como sinónimo de “agua pura” se utiliza al introducir aspectos de tecnología y sociedad en un curso convencional de química con aspiraciones CTS. Como lo resume Gilbert (2006) aquí el contexto del experto no necesariamente es el contexto del estudiante.

Actualmente se tiene una visión diferente de lo que representa la corriente CTS, que no es la de la “unión” artificial de sus tres campos de dominio separados:

CTS es algo más que la suma de esos tres términos. Supone una nueva aproximación o perspectiva sobre esos conceptos que pone el acento en sus relaciones recíprocas, en las complejas interacciones que, especialmente en la actualidad, se dan entre la sociedad, la tecnología y la ciencia (Grupo Argo, 2000, p. 2).

De esta manera, la más moderna acepción del dominio CTS engloba la ciencia y la tecnología (la tecnociencia, más bien) dentro de los aspectos culturales:

La palpable transformación de la cultura en tecnocultura fomenta la aceptación de la ciencia y la tecnología como modalidades culturales. En todo caso, es innegable que uno de los mayores retos para la cultura del siglo XXI está en comprender, valorar y manejar culturalmente la proliferación de las innovaciones tecnocientíficas [...]. Para comprender la ciencia y la tecnología contemporáneas como realizaciones culturales y manejar culturalmente las consecuencias de sus innovaciones, es preciso un marco conceptual y

teórico (riguroso y sistemático) que rompa con las disociaciones tradicionales redefiniendo, de algún modo, las mismas ideas de cultura y naturaleza y que sea capaz de fructificar en nuevas tecnologías culturales de interpretación, valoración e intervención (Medina, 2000, p. 1).

Lo anterior, que es sin duda un avance, no puede hacerse a espaldas de lo que sucede día a día en las aulas, cualesquiera que sea el nivel educativo en cuestión.

Por ello, los conocimientos escolares no pueden ser ya “los programas” de siempre basados en conceptos que proporcionan una visión rígida y dogmática del mundo sino que han de ser la ocasión de plantear preguntas que inciten a la intervención y a la reflexión sobre fenómenos y relaciones entre fenómenos que sean relevantes para comprender los temas científicos de actualidad (Izquierdo, 2005, p. 114).

4. SOBRE LA POSTURA FILOSÓFICA DETRÁS DEL CURRÍCULO

La posición dominante sobre el currículo, esto es la educación química normal, se sustenta filosóficamente en el positivismo lógico originado alrededor del Circulo de Viena (van Berkel *et al.*, 2000). Sobre esta corriente diversos investigadores educativos han manifestado en los últimos años sus particulares desacuerdos. Por ejemplo Driver *et al.* (2000, p. 289) indican:

La visión "positivista" de la ciencia, poniendo el énfasis en el recuerdo de los hechos a través de experimentos confirmatorios, niega el papel de los relatos históricos y sociales de la ciencia y la presenta como una sucesión lineal de descubrimientos exitosos. Las aplicaciones de la ciencia y sus implicaciones sociales, se limitan simplemente a ilustrarla "utilización" de los conocimientos científicos (Driver, p. 289).

De manera más contundente Van Aalsvoort (2004, p. 1158) indica:

el positivismo lógico supone que el conocimiento científico puede ser aplicado en todas las situaciones por todas las personas en todo momento, debido a su carácter universal. Por lo tanto, es un tipo especialmente valioso de conocimiento. La tecnología desarrolla aplicaciones de los conocimientos científicos con miras a las necesidades o problemas sociales, lo que implica elecciones y decisiones basadas en valores. Por lo tanto, la tecnología no puede ser considerada parte de la ciencia. La sociedad, al menos, utiliza las aplicaciones que, provenientes de la tecnología, se han puesto a disposición. Esto significa que el positivismo lógico construye una brecha entre la ciencia por un lado, y la tecnología y la sociedad por el otro (Van Aalsvoort, 2004, p. 1158).

Así, una de las razones del fracaso de integrar curricularmente la actividad científica profesional con un proyecto socio-cultural, es que lo que se conoció durante una buena parte del siglo XX como filosofía de la ciencia, fue la posición dominante originada alrededor del Círculo de Viena. Recientemente se han estudiado sus orígenes históricos, particularmente los textos en alemán de sus fundadores entre los que sobresale Otto Neurath. Así resulta lo que dice Reish (2009):

Dado que ahora sabemos que el empirismo lógico fue originalmente un proyecto

filosófico con ambiciones culturales y sociales, nos encontramos en el momento oportuno para preguntarnos cómo fue transformada la disciplina y cómo se perdieron estas ambiciones culturales y sociales. La respuesta que se defiende aquí es que fue transformada durante la década de 1950 al menos parcialmente, si no principalmente, por presiones políticas que eran comunes a lo largo de toda la vida cívica, así como también de la vida intelectual, durante la Guerra Fría que siguió a la Segunda Guerra Mundial. En gran parte, estas presiones llevaron al empirismo lógico a deshacerse de sus compromisos culturales y sociales debido al cambio en el movimiento de Unidad de la Ciencia de Neurath. El movimiento no era meramente un frente público y científico para un programa que de otro modo hubiera sido filosófico e independiente. Contribuyó a determinar qué clase de preguntas y temas de investigación eran perseguidos, y cómo eran perseguidos, en el corazón de la filosofía de la ciencia (Reish, 2009, p. 27).

Lo anterior queda claro cuando se consideran los escritos del científico comunista inglés John D. Bernal, marginado en su país y considerado el fundador de la corriente de estudios de ciencia y tecnología con fuertes connotaciones políticas. En su muy influyente libro *La ciencia en la historia*, publicado en 1954 y del que aquí utilizamos la traducción realizada por Eli de Gortari en la UNAM años después, Bernal indica (1972, p. 37):

El curso de los acontecimientos nos plantea, cada vez con mayor insistencia, ciertos problemas sobre la ciencia, como son los siguientes: el empleo apropiado de la ciencia en la sociedad, la militarización de la ciencia, las relaciones de la ciencia con los gobiernos [...] la posición de la ciencia en la educación y en la cultura, en general. ¿Cómo se resuelven estos problemas? Las tentativas que se han hecho para darles soluciones recurriendo a principios aceptados o a verdades evidentes por sí mismas, sólo han servido para producir confusión [...] para que sea consciente [la solución] debe implicar un conocimiento profundo de todas las relaciones existentes entre la ciencia y la sociedad, para lo cual se requiere desde luego conocer la historia de la ciencia y de la sociedad (Bernal 1972, p.37).

Reconociendo la importancia de su legado, tan cuestionado en su propio momento pero muy apreciado posteriormente por sus colegas en todo el mundo, desde 1981 la *Society for Social Studies of Science* ha entregado el premio J. D. Bernal a algunos de los filósofos de la ciencia más influyentes, entre los que destacan R. K. Merton, T. S. Kuhn, B. Latour y S. Shapin. Lo que con ello queda claro, y el caso de J. D. Bernal es sólo un ejemplo, es que durante la Guerra Fría en la mayoría del mundo intelectual anglosajón se llevó a cabo una purga que entronizó una filosofía de la ciencia que defendía analíticamente su superior pureza centrada en la metodología y en la reducción de las diversas disciplinas científicas a la física. Como lo indica el filósofo español J. Echeverría (2003):

La reducción de unas ciencias a otras era el objetivo fundamental del Círculo de Viena en su proyecto de elaboración de una ciencia unificada. Del mismo modo que Frege, Russell y la escuela formalista de Hilbert habían reducido las matemáticas a la lógica [...] las ciencias empíricas debían ser reducidas a lenguaje fiscalista, e incluso algunas

ciencias a otras, como las ciencias sociales a la psicología (entendida al modo conductista) y ésta, a su vez, al fisicalismo. La impronta del positivismo de Comte, aunque muy lejana, seguía dejándose notar (Echeverría, 2003, p. 56).

En gran parte estas presiones llevaron al empirismo lógico a deshacerse de sus compromisos culturales y sociales debido al cambio en el movimiento de Unidad de la Ciencia de Neurath. El movimiento no era meramente un frente público y científico para un programa que de otro modo hubiera sido filosófico e independiente. Contribuyó a determinar qué clases de preguntas y temas de investigación eran perseguidos, en el corazón de la filosofía de la ciencia. Como lo indica Reish al concluir su magnífico estudio (Reish, 2009):

Si estos mecanismos que transformaron la filosofía de la ciencia hubieran sido desviados, expuestos o contraatacados de alguna manera, si la profesión no solo hubiera permitido, sino también alentado a sus luces más brillantes a completar su labor técnica en filosofía, con análisis de los asuntos y de los debates públicos, uno no puede sino preguntarse si los planes de la filosofía científica de contribuir a hacer realidad un público más informado científica y epistemológicamente, y tal vez un mundo más pacífico, económicamente estable y justo, no habrían parecido tan ingenuos e ilusos como parecen hoy (Reish, 2009, p. 458).

Después de tantos años hoy es posible trazar la línea ideológica que entronizó a una postura filosófica que se traicionó a sí misma. La filosofía original del Círculo de Viena devino la filosofía de la ciencia académica del mundo anglosajón que para poder sobrevivir se acomodó a las condiciones sociales que el gobierno de posguerra norteamericano impuso a sus ciudadanos. Resulta paradójico que al negar las relaciones entre la ciencia y la sociedad, sobreviviera. Y eso es lo que varias generaciones de estudiantes de ciencias aprendimos en las aulas y que aún se está enseñando.

5. HACIA UNA RECONSTRUCCIÓN DEL CURRÍCULO DE LA QUÍMICA

El enfoque CTS actual es una propuesta curricular que centrada en los saberes de los expertos persigue varios propósitos relacionados entre sí (Aikenhead 2005, p. 388):

- (1) buscar y reconocer que los aspectos humanos y culturales de la ciencia y la tecnología sean más accesibles y relevantes para los estudiantes (por ejemplo, la sociología, la filosofía y la historia de la ciencia, así como sus interrelaciones con la sociedad);
- (2) ayudar a los estudiantes a ser mejores pensadores, críticos, creativos y solucionadores de problemas, y especialmente incrementar su capacidad de tomar decisiones, en un contexto cotidiano relacionadas con la ciencia;
- (3) aumentar las capacidades de los estudiantes para comunicarse entre sí y con la comunidad científica o sus portavoces (es decir, escuchar, leer, responder, etc);
- (4) aumentar el compromiso de los estudiantes con su responsabilidad social, y
- (5) generar interés en, y por lo tanto, aumentar su capacidad de aprender los contenidos específicos que se encuentra en los currículos de ciencias

Lo cierto es que solamente una baja proporción de los estudiantes del bachillerato en todo el mundo ha concluido con una formación científica dentro de este esquema. Para reconocer su impacto las dificultades aún son muchos, como lo indica Gilbert (2006) además de las confusiones en cuanto a las propias posturas (debido en gran parte a que a pesar de sus buenas intenciones conserva su impronta lógico-positivista) su implementación a lo largo de la vida escolar es muy fragmentada.

Sobre la posición filosófica dominante se construyeron multitud de currículos en todo el mundo relacionados con las ciencias en la segunda mitad del siglo XX a los que se enfrentaron, con cierto poco éxito y sus diversos matices, el CTS, ya que varias de sus aproximaciones más importantes se permearon de esa filosofía lógico-positivista de ensalzamiento de una única y aséptica ciencia, la de los expertos. El ir cambiando los currículos poco a poco, incorporando algunos nuevos asuntos ha permitido reconocer la posición gatopardesca de “cambiar para que nada cambie”.

Hemos identificado, de acuerdo con las ideas originales propuestas por van Berkel (2000) que para escapar de esta posición dominante del currículo es necesario tres acciones concertadas, como se muestra en la Cuadro 1:

Cuadro 1. Condiciones para escapar e propuestas.

Condiciones para escapar	Propuestas
Se debe saber de dónde se escapa	De un currículo dominante basado en la física y químicamente puro, sazonado ocasionalmente con algunas aplicaciones
Hay que saber de qué se escapa	De una postura filosófica centrada en la concepción heredada de la ciencia del Circulo de Viena
Hay que saber cómo escapar	Construir una nueva relación entre alumnos y docentes basada en otras posturas filosófica y con una inequívoca intervención en el mundo

Escapando de los currículos universales que tenemos, centrados en las decisiones de que contenidos enseñar de los expertos, buscando integrar los contenidos de química a las circunstancias sociales específicas de los alumnos (reconociendo con ello las aportaciones de Vigotsky) se pretende alcanzar lo que atinadamente reconoce Izquierdo:

La principal aportación que puede hacer la ciencia a la educación de las personas es enseñar a pensar sobre los resultados de una intervención con motivo y objetivo, mediante “modelos” que integren reglas de actuación y lenguajes con los cuales se socialicen los conocimientos. (Izquierdo, 2005, p.117)

De esta manera concluimos que es necesaria una revisión de la base filosófica del currículum de la química, siguiendo a van Berkel y coincidiendo con la postura filosófica de Olive (2000). La nueva construcción curricular, ha de basarse menos en la concepción positivista de la ciencia y más en su visión de tecnociencia, con su naturaleza éticamente no neutral y pluralista, con sus daños justificables, sin una noción de verdad y quizás basada en la sustentabilidad como arma de cohesión. De esta manera, debe buscarse que la química quede conectada con los actores que la han desarrollado a través de la historia, así como con la indagación y la resolución de problemas como principales estrategias didácticas para alcanzar

una enseñanza basada en la investigación, como forma efectiva de transmitir a los estudiantes la naturaleza de esta ciencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIKENHEAD, Glen S. STS education: A rose by any other name. Vol. 5, pp. 59-75, in: CROSS, Roger (ed.). *A vision for science education. Responding to the work of Peter Fensham*. New York: Routledge Falmer, 2003. Publicada una traducción autorizada en español como AIKENHEAD, Glen S. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. *Educación Química* **16** (2): 114-124, 2005.
- AIKENHEAD, Glen S. Research into STS Science Education. *Educación Química* **16** (3): 384-397, 2005.
- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. *Chemistry in the Community*. 5. ed. New York: W. H. Freeman, 2006.
- ARCHER, Ronald D. Foreword. American Chemical Society Dubuque. Pp. xi, in: SCHWARTZ, A. Truman; BUNCE, Diane M.; SILBERMAN, Robert G.; STANITSKI, Conrad L.; STRATTON, Wilmer J. & ZIPP, Arden P. *Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society*. IA, USA: Wm. C. Brown Pub, 1994.
- BERNAL John D. *La ciencia en la historia*, México: UNAM, 1972.
- CHAMIZO José Antonio; IZQUIERDO, Mercè. Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía, *Alambique* **46** (1): 9-17, 2005.
- . El curriculum oculto. *Educación Química* **12** (4): 194-198, 2001. Disponible en: <<http://depa.pquim.unam.mx/SHFQ>>.
- CUTCLIFFE, S. H. The emergence of STS as an academic field. In Durbin, Paul (Ed.), *Research in Philosophy and Technology*, Vol. 9. Greenwich, Conn.: JAI Press, 1989
- DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul & OSBORNE, Jonathan. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* **84** (3): 287-312, 2000.
- EASLEA, Brian. *Fathering the Unthinkable. Masculinity, Scientist and the Nuclear Arms Race*. London: Pluto Press, 1983.
- ECHEVERRÍA, Javier. *Introducción a la Metodología de la Ciencia*. Madrid: Ediciones Cátedra, 2003.
- GALLAGHER, James J. A broader base for science education. *Science Education* **55** (3): 329-338, 1971.
- GARCÍA, Horacio. *La bomba y sus hombres*. México: Alhambra Mexicana, 1987.
- GILBERT, John K. On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education* **28** (9): 957-976, 2006.
- GARRITZ, Andoni. Ciencia-Tecnología-Sociedad. A diez años de iniciada la corriente. *Educación Química* **5** (4): 217-223, 1994.
- GRUPO ARGO. ¿Qué es CTS? Pp. 1-17, in: GRUPO ARGO. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*. 2000. Disponible en: <http://www.grupoargo.org/cts41_42.pdf>. Acceso 20/09/2010.
- IZQUIERDO, Mercè. Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*. **23** (1): 111-122, 2005.
- LAYTON, David. *Technology's Challenger to science education*. Buckingham: Open University Press, 1993.

- MEDINA, Manuel. Ciencia-Tecnología-Cultura del siglo XX al XXI, en Medina, Manuel y Kwiatkowsnka, T. (eds.), *Ciencia, Tecnología /Naturaleza, Cultura en el siglo XXI*. Barcelona: Editorial Anthropos, 2000. Disponible en: <<http://www.ub.es/prometheus21/articulos/cienciaytecnologia.pdf>>. Acceso 20/09/2010.
- OLIVÉ, León. *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y de la tecnología*. México: Paidós, 2000.
- NSTA, Science-technology-society. A New Effort for Providing Appropriate Science for all (Position Statement). Pp. 47-48, in: *NSTA. Handbook*, Washington. D. C. USA: National Science Teachers Association, 1990.
- NUFFIELD FOUNDATION. *CHEMISTRY*. United Kingdom: Longmans/Penguin books, 1967.
- PIMENTEL, G. C. (ed.). *Chemistry: An Experimental Science (Chemical Education Material Study)*. San Francisco CA, USA: Freeman and cols., 1963.
- REISH, A. George. *Cómo la Guerra Fría transformó la filosofía de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes, 2009.
- STRONG, I. E. (ed.). *CBA Project. Chemical Bond Approach*. United Kingdom: Earlham College Press. 1964.
- TANNER, D. & TANNER, L. Curriculum Development. Theory into Practice, New York: MacMillan, 1980.
- VAN AALSVOORT, Joke. Logical positivism as a tool to analyse the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education* **26** (9): 1151-1168, 2004.
- VAN BERKEL, Berry; de VOS, Wobbe; VERDONK, Adri H. & PILOT, Albert. Normal Science Education and its Dangers: The Case of School Chemistry, *Science&Education*, **9** (1-2): 123-159, 2000.
- WARE, Sylvia A. (1999). The World Bank, Washington, D.C. Comunicación personal.

ANÁLISE DE PRÁTICAS PEDAGÓGICAS REALIZADAS EM ATIVIDADES DE FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES DE FÍSICA: LIMITES E POSSIBILIDADES

Sandra Regina Teodoro Gatti*

Roberto Nardi**

Resumo: *As pesquisas em Ensino de Ciências parecem apontar de forma consensual para a importância da aproximação de aspectos históricos e filosóficos ao ensino. Apesar disso, a prática pedagógica desenvolvida em sala de aula dificilmente incorpora tais recomendações. Nesta pesquisa analisamos o desenvolvimento de atividades de formação continuada com docentes de Física, aproximando a História e Filosofia da Ciência como fios condutores das discussões e focos das experiências didáticas realizadas por eles, buscando permitir que o docente construa maneiras alternativas de observar e entender o trabalho dos estudantes e colocando-os como produtores de conhecimento. Para tanto, planejamos um curso intitulado “A História e a Filosofia da Ciência na prática pedagógica de professores de Física”. Neste curso acompanhamos o desenvolvimento de cinco professoras durante o ano letivo de 2008, sendo apenas duas delas licenciadas em Física. A partir das reflexões realizadas, as professoras elaboraram propostas de minicursos que foram aplicados em situações reais de sala de aula, e acompanhados em reuniões de reflexão. Neste artigo procuramos discutir as propostas e percepções de três das participantes²*

Palavras-chave: *História da Ciência; Filosofia da Ciência; Formação de professores.*

ANALYSIS OF PEDAGOGICAL PRACTICES HELD ON ACTIVITIES OF CONTINUING EDUCATION FOR PHYSICS TEACHERS: LIMITS AND POSSIBILITIES

Abstract: *Research in Science Teaching seems to point to a consensus on the importance of*

* Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Bauru. Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências. sandragatti@fc.unesp.br . Apoio: CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

** Universidade Estadual Paulista, UNESP, Campus de Bauru. Prof. Adjunto, Livre Docente do Departamento de Educação, Faculdade de Ciências, Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências. nardi@fc.unesp.br. Apoio: CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

²Os dados referentes às duas outras participantes foram publicados em Gatti e Nardi (2009).

approaching the history and philosophy and science teaching. Nevertheless, the pedagogical practice developed in classrooms rarely incorporates such recommendations. In this study we analyzed the development of continuing education activities for in-service physics teachers, aiming to approach the History and Philosophy of Science as focus of discussions and student experiments carried out by them, seeking to allow teachers to build alternative ways to observe and understand students' work and placing them as producers of knowledge. To this end, we designed a course entitled "History and Philosophy of Science in pedagogical practice for in-service physics teachers." In this course we followed the performance of five teachers during the school year 2008, two of them being graduated in Physics. From reflections on these short courses, teachers developed proposals that were applied in their classrooms, and followed in reflections meetings. In this chapter we will discuss the proposals and perceptions of the three participants.

Key-words: *History of Science, Philosophy of Science, Teacher Training.*

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a pesquisa em Ensino de Ciências tem evidenciado a relevância do papel desempenhado pela História e Filosofia da Ciência no ensino e aprendizagem das Ciências. Há um número grande de artigos publicados em revistas especializadas da área que, nos eventos e congressos, destina espaços específicos para essa temática (Martins, 2007).

Apesar disso, a análise feita por Menezes em 1980 ainda é bastante atual quando trata da questão da real incorporação do tema em sala de aula:

[...] no ensino convencional de Física, considerações históricas sobre descobertas etc., tem um papel meramente ilustrativo ou anedótico ao invés de ser parte efetiva do processo educacional. Aprende-se uma Ciência que parece estar estruturada marginalmente ao contexto social e às condições socioeconômicas (Menezes, 1980, p. 94).

Nesse sentido é importante questionar que HFC se propõem?

Não se trata de passar aos nossos alunos estórias recheadas de “curiosidades”, contribuindo para a perpetuação de uma imagem distorcida, linear e composta de muitos “gênios” que “inventaram” teorias sem estudos nem esforços. Pois encarar

(...) a Ciência como um produto acabado confere ao conhecimento científico uma falsa simplicidade que se revela cada vez mais como uma barreira a qualquer construção, uma vez que contribui para a formação de uma atitude ingênua frente à ciência. Ao encararmos os conteúdos da ciência como óbvios, as diversas redes de construção edificadas para dar suporte a teorias sofisticadas apresentam-se como algo natural e, portanto, de compreensão imediata (Robilotta, 1988). Assim, o conhecimento científico, construção sofisticada e gradual da mente humana, passa a ser tomado como algo passível de mera transmissão, de revelação e não de conhecimento a ser elaborado. Esta atitude mostra-se claramente nociva a qualquer tentativa de se aproximar da ciência. A introdução da dimensão histórica pode tornar o conteúdo científico mais interessante e compreensível exatamente por trazê-lo para mais

perto do universo cognitivo não só do aluno, mas também do próprio homem, que, antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece (Castro e Carvalho, 1992).

Nesta perspectiva, a História e a Filosofia da Ciência deveriam ser incorporadas às práticas de ensino de Ciências porque elas não apenas humanizam os currículos, mas, poderiam tornar mais explícitos os interesses pessoais, éticos, culturais e políticos que as envolveram em suas construções históricas (Berduque *et al.*, 1997).

Isto implica uma preocupação com a formação de professores, uma vez que não se pode esperar que a formação inicial ofereça um produto final, e sim que deva ser compreendida como um primeiro momento de uma formação que se estende (Garcia, 1999).

2. A PESQUISA

É no bojo das discussões sobre a importância da História e Filosofia da Ciência no ensino de Física e suas consequências para a formação de professores que propusemos esta pesquisa. A partir dos resultados de um levantamento sobre o perfil dos professores de Ciências, Física, Química, Biologia e Matemática de uma cidade do Estado de São Paulo, elaboramos uma proposta de curso de formação continuada intitulado “A História e a Filosofia da Ciência na prática pedagógica de professores de Física” com duração de 40 horas-aula.

Acompanhamos o desenvolvimento de cinco professoras que participaram do curso durante o primeiro semestre letivo de 2008 e estavam atuando na disciplina Física no Ensino Médio; apenas duas delas eram licenciadas em Física. As professoras, a partir das reflexões realizadas, elaboraram propostas de minicursos levando em consideração aspectos da História e Filosofia da Ciência no ensino, além das concepções alternativas dos estudantes. Os minicursos foram desenvolvidos por elas em situações reais de sala de aula e acompanhados pela pesquisadora em reuniões de reflexão.

Trata-se de uma pesquisa qualitativa e o tratamento das informações obtidas foi pautado na análise de conteúdo, de acordo com Bardin (1994)³. Em cada parte do curso foram utilizadas diferentes fontes de dados para avaliação dos processos envolvidos na formação dos docentes. O quadro abaixo procura sintetizar tais informações:

2.1 As atividades do curso:

Após a fase inicial, onde realizamos levantamentos sobre as concepções das participantes sobre a construção do conhecimento científico, sobre os processos de ensino e aprendizagem e limites e possibilidades da aproximação da História e Filosofia da Ciência no ensino, partimos para a realização do curso propriamente dito.

A primeira parte foi dedicada ao estudo de alguns aspectos da Filosofia da Ciência como, por exemplo, a abordagem da diferenciação entre o Mito e o pensamento Científico, além das principais concepções de Ciência: racionalista, empirista e construtivista (Chalmers, 1997; Chauí, 2006; Omnés, 1996).

³ Optamos por analisar os resultados estabelecendo categorias. Utilizamos para tanto o procedimento por “milha”, onde o sistema de categorias não é fornecido e o título conceitual de cada categoria só é definido no final da operação (Bardin, 1994).

Quadro 1. Instrumentos de coletas de dados utilizados em cada momento da pesquisa.

<i>Atividades desenvolvidas</i>	<i>Instrumentos de coleta de dados</i>
PRIMEIRO MOMENTO	
Levantamento das concepções iniciais das participantes.	Questionário sobre concepções de ensino e aprendizagem. Gravação em videotape da entrevista de grupo focal.
SEGUNDO MOMENTO: O CURSO	
Atividades de reflexão sobre os temas:	Bloco de notas do pesquisador.
1. Fundamentos teóricos sobre o ensino e a aprendizagem de Física: a abordagem construtivista no ensino.	Registros escritos das professoras.
2. Filosofia, História da Ciência e Ensino de Física.	Gravação em vídeo das atividades de reflexão.
3. Pesquisas recentes sobre o ensino de Física.	
4. Formação de Professores e sua profissionalização.	
5. Elaboração de atividades de ensino.	
TERCEIRO MOMENTO	
Aplicação das propostas de minicursos desenvolvidas a partir das discussões realizadas em situações reais no Ensino Médio.	
Realização de seminários com os relatos sobre as experiências das participantes.	Gravação em vídeo - tape.
Análise das concepções das participantes no final do processo.	Gravação em vídeo - tape da entrevista de grupo focal.

A seguir, discutimos com as professoras alguns artigos sobre trabalhos de filósofos da Ciência contemporânea (Ostermann, 1996; Silveira, 1996a; 1996b), tais como Kuhn, Popper e Lakatos, procurando trabalhar com fontes secundárias. O objetivo foi debater diferentes modelos que procuram definir como a Ciência é elaborada, em contraposição às concepções reveladas durante o levantamento inicial. Os argumentos que justificam uma aproximação da Filosofia da Ciência no ensino de Física também foram discutidos (Adúriz-Bravo; Izquierdo & Estany, 2002).

No que diz respeito à História da Ciência no ensino de Física, foram utilizados alguns textos (Matthews, 1994; Monk & Osborne, 1997; McComas, 1998; Martins, 2007) que discutem a fundamentação teórica das pesquisas que defendem que a História e a Filosofia da Ciência sejam incorporadas ao ensino como forma de: 1) contribuir para humanizar a Ciência, revelando interesses pessoais, éticos, culturais e políticos; 2) tornar as aulas mais interessantes; 3) estimular a discussão e a formação do pensamento crítico, 4) superar a simples repetição de fórmulas e equações, muitas vezes sem significado para os alunos, 5) compreender que uma teoria aceita atualmente já foi alvo de severa oposição e 6) fornecer subsídios para que as próprias concepções correntes sejam analisadas de forma crítica.

Os conteúdos históricos foram desenvolvidos a partir do texto elaborado pelos autores, que procura realizar uma discussão sobre a construção do tema atração gravitacional, buscando desmistificar a visão de Ciência neutra, cumulativa e linear (Teodoro, 2000; Gatti, 2005). Nesse sentido, houve uma preocupação com a seleção de conteúdos históricos que nos permitissem atingir tais objetivos.

Foram debatidos ainda, temas relacionados aos estudos da área de Ensino de Ciências, tais como, as pesquisas sobre concepções alternativas e mudança conceitual (Duarte & Faria, 1997; Santos, 1998), os currículos com abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente - CTSA (Santos & Mortimer, 2002; Cazelli & Franco, 2001), o pluralismo metodológico (Laburu; Arruda & Nardi, 2003).

Durante a realização do curso, cada participante pôde selecionar um tema a fim de desenvolver sua proposta de minicurso e os planejamentos foram apresentados e discutidos com o grupo na universidade antes de serem aplicados no Ensino Médio.

3. AS PROPOSTAS DE MINICURSOS, IMPRESSÕES E REFLEXÕES SOBRE OS RESULTADOS DA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA NO ENSINO MÉDIO E PERSPECTIVAS

Apresentamos a seguir a análise dos planejamentos dos minicursos desenvolvidos por três docentes. As propostas deveriam incorporar as discussões realizadas durante o curso, tais como a aproximação da História da e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências, CTSA, além das concepções alternativas dos estudantes sobre o tema escolhido.

Para tanto, inicialmente apresentaremos uma síntese dos planos de aula das participantes, incluindo uma discussão sobre as propostas sugeridas pelas docentes e o que realmente desenvolveram, suas justificativas e impressões expostas no seminário para a apresentação e reflexão sobre os resultados da experiência desenvolvida.

3.1 O minicurso de Greice

A proposta de minicurso da professora trata do tema “Energia” e procura incorporar as inovações discutidas durante o curso, partindo da explicitação das concepções dos estudantes, utilizando a História da Ciência como fio condutor das reflexões com os alunos e discutindo as questões referentes à Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

Sobre a justificativa para a escolha do tema, a professora revela:

Eu quis trabalhar um tema bem do dia a dia deles. Eu quis levá-los a refletir sobre a necessidade cada vez maior de novas fontes de energia e o impacto ambiental que isso tem gerado. Eu achei que seria um tema muito bom para tratar da questão CTSA que a gente estudou aqui no curso.

Sobre a utilização da História e Filosofia da Ciência, Greice comenta:

A base para a elaboração do planejamento foi aquele texto do Matthews⁴ que nós estudamos, onde ele fala das vantagens da utilização da Ciência, como tornar o conhecimento mais interessante, mostrar uma visão de Ciência em construção.

As atividades propostas para as aulas 3 e 4, com o título “Evolução histórica do tema Energia” foram desenvolvidas a partir da utilização de um texto extraído do livro Física Conceitual (Hewitt, 2002), e adaptado pela professora, que procurava discutir entre outros

⁴ Matthews, M. R. (1994).

aspectos, a matemática como linguagem da ciência, os métodos científicos e a atitude científica.

Sobre a justificativa para a escolha do tema, a professora revela:

Eu quis trabalhar um tema bem do dia a dia deles. Eu quis levá-los a refletir sobre a necessidade cada vez maior de novas fontes de energia e o impacto ambiental que isso tem gerado. Eu achei que seria um tema muito bom para tratar da questão CTSA que a gente estudou aqui no curso.

Quadro 2. Síntese do planejamento sugerido pela professora Greice.

Greice				
(Segundo ano do Ensino Médio)				
Tema: Energia				
Aulas	Conteúdo	Atividade desenvolvida	Objetivos	Avaliação
Aulas 1 e 2		Aplicação de uma questão para coletar as concepções dos alunos sobre o que é energia .	Avaliar as concepções alternativas dos estudantes sobre o tema.	Respostas individuais.
Aulas 3 e 4	(1) Evolução Histórica do Conceito de Energia.	Leitura e discussão de texto elaborado pela docente.	Reconhecer a Física como construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político, econômico e filosófico	Participação dos alunos.
Aulas 5 e 6	(2) Fontes de Energia renováveis e não renováveis. (3) Relações CTSA.	Pesquisa desenvolvida pelos alunos em pequenos grupos como tarefa em casa. Debate.	Discutir questões tais como: a importância da economia de energia e o impacto ambiental.	Questão: Porque devemos economizar energia?
Aulas 7 e 8	Energias: cinética, potencial gravitacional, solar, térmica, química, nuclear, eólica, luminosa e sonora. Conservação da energia mecânica.	Aula expositiva dialogada.	Utilizar instrumentos de cálculos matemáticos na solução de problemas envolvendo conservação de energia.	Resolução de problemas.

Sobre a utilização da História e Filosofia da Ciência, Greice comenta:

A base para a elaboração do planejamento foi aquele texto do Matthews⁵ que nós estudamos, onde ele fala das vantagens da utilização da Ciência, como tornar o conhecimento mais interessante, mostrar uma visão de Ciência em construção.

As atividades propostas para as aulas 3 e 4, com o título “Evolução histórica do tema Energia” foram desenvolvidas a partir da utilização de um texto extraído do livro Física Conceitual (Hewitt, 2002), e adaptado pela professora, que procurava discutir entre outros aspectos, a matemática como linguagem da ciência, os métodos científicos e a atitude científica.

A professora procurou complementar a discussão com a argumentação de que o conceito de energia até hoje representa um desafio para os cientistas, mas não conseguiu trabalhar a questão histórica de maneira muito profunda em função do pouco tempo disponível.

As demais atividades têm como foco as relações CTSA.

Em sua fala, após a aplicação do minicurso, a docente revela:

[...] Eu tentei mostrar que a ciência, ao contrário daquilo que as pessoas acreditam, não é algo acabado. Todos os dias há algum cientista trabalhando em um modelo. [...] eu procurei reforçar para eles que Isso significa que aquilo que nós estudamos hoje nos livros pode amanhã ser reescrito, substituído por uma nova teoria.

É importante enfatizar que a mudança de postura da docente em relação à sua prática durante a realização da pesquisa foi significativa, já que, por ser formada em Matemática, ela relatava muitas dificuldades para desenvolver um trabalho que permitisse a participação dos alunos por receio de não conseguir responder aos questionamentos.

A professora revela que, apesar das dificuldades, os alunos gostaram do trabalho diferenciado e mais reflexivo.

Os alunos gostaram do trabalho diferenciado, mas a maior dificuldade é que eles têm problemas com a leitura e interpretação de textos. Sem contar a resistência inicial porque eles acham que leitura é na aula de História ou Português.

Sobre o impacto da experiência em sua prática, a professora revela que:

Eu trabalhava a Física com definições curtas e resumidas e exercícios. Só. Eu nunca falei de História ou Filosofia da Ciência. O que eu fazia de diferente era usar artigos de revistas, jornais, como a Superinteressante. O resto era matemática aplicada. Agora eu estou descobrindo uma nova forma de ver essas questões.

Ao final de sua exposição, ao ser questionada sobre possíveis contribuições da experiência desenvolvida para a sua formação/prática, e se pretende continuar utilizando as inovações discutidas durante o curso, Greice revela:

Hoje eu fico mais preocupada, pois me sinto mais responsável pelo acompanhamento

⁵ Matthews, M. R. (1994).

dos alunos. Aquela questão do professor ser autônomo, investigar a prática (...) isso também responsabiliza mais a gente. Eu tento preparar a minha aula hoje baseado naquilo que eu posso fazer dentro do que nós estudamos e estou procurando analisar o que dá mais resultado. (...) O curso trouxe várias contribuições para minha formação, entre outras consolidou métodos que já faziam parte da minha prática em sala de aula, ampliou o “universo” de pesquisas diversificando o material didático usado nas aulas e promoveu discussões de temas relacionados ao cotidiano dos alunos esclarecendo dúvidas e apontando soluções (Greice).

3.2 O minicurso de Mariana

A proposta de minicurso da professora trata do tema “Etnoastronomia” e se divide em duas partes: (1) Na primeira, trata da diversidade cultural e dos modelos de mundo elaborados por comunidades indígenas brasileiras como temas motivadores para o estudo da Física. (2) Na segunda parte, o estudo de alguns conceitos Físicos presentes no cotidiano das tribos são abordados.

O minicurso procura abordar a questão da História da Ciência e se encaixa na proposta curricular do Estado de São Paulo, que sugere o estudo de modelos explicativos da constituição e origem do Universo, segundo diferentes culturas, buscando semelhanças e diferenças entre suas formulações.

Mariana não inclui em sua proposta o levantamento das concepções alternativas dos estudantes e não procura discutir as relações CTSA.

Em função do pouco tempo disponível, a docente não conseguiu desenvolver a segunda parte de seu planejamento, referente às aulas 5 e 6.

Apesar disso, percebe-se em seu trabalho uma tentativa real de levar as discussões sobre a História e a Filosofia da Ciência para a sala de aula. A docente utilizou como base para o trabalho, artigos extraídos da edição especial da Revista *Scientific American Brasil* (2006).

Ao final de sua exposição, ao ser questionada sobre possíveis contribuições da experiência desenvolvida para a sua formação/prática, e se pretende continuar utilizando as inovações discutidas durante o curso, Mariana revela:

Eu achei muito importante discutir esses temas que mesmo fazendo curso de Física, ficaram fora da minha formação. Eu nunca tinha estudado Filosofia e creio que agora tenho uma visão diferente dos conteúdos e da forma que eles devem ser trabalhados. (...) Não sei se no dia a dia será possível fazer isso sempre, mas agora eu tenho questionado algumas coisas que eu sempre fiz (...) acabei percebendo que nem sempre o aluno não aprende porque é incapaz ou desinteressado. Existem teorias que me ajudaram a compreender as concepções deles (Mariana).

Quadro 3. Síntese do planejamento sugerido pela professora Mariana.

Mariana				
Primeiro ano do Ensino Médio				
ETNOASTRONOMIA				
Aulas	Conteúdo	Atividade desenvolvida	Objetivos	Avaliação
Aulas 1 e 2	Texto: Lendas indígenas brasileiras. O surgimento da vida na Terra.	Leitura e discussão do texto ⁶ .	Demonstrar que outras culturas também elaboraram modelos explicativos sobre a origem e a constituição do Universo.	Participação do alunos.
Aulas 3 e 4	A Construção social do Céu. Astronomia indígena.	Leitura e discussão do texto elaborado pela docente.	Demonstrar que outras culturas também elaboraram modelos explicativos sobre a origem e a constituição do Universo. Questionar uma visão de mundo etnocêntrica, introduzindo o respeito pela diversidade.	Síntese elaborada pelos alunos em pequenos grupos.
Aulas 5 e 6	A Física presente no cotidiano indígena: alguns exemplos. A Pesca e a refração da luz. Agricultura e as estações do ano.	Aula expositiva dialogada.	Demonstrar os conceitos físicos presentes no cotidiano indígena.	Resolução de problemas abertos.

3.3 O minicurso de Viviane

A professora Viviane participou das atividades do curso durante o primeiro semestre letivo. Durante o segundo semestre, quando buscamos acompanhar a elaboração e a aplicação dos minicursos, a docente não esteve presente. Dessa forma não temos os dados referentes ao trabalho que seria desenvolvido por ela.

3.4 Breve Síntese

O quadro 3 procura sintetizar as ideias sugeridas pelas professoras em relação aos temas que foram discutidos durante o curso e que deveriam integrar a propostas. A classificação

⁶ Textos extraídos e adaptados da Edição Especial da revista Scientific American Brasil, sobre o tema Etnoastronomia.

quanto ao nível de engajamento, refere-se à preocupação da participante em utilizar, em suas atividades, os aspectos estudados durante o curso.

É importante ressaltar que o quadro analisa os dados referentes às quatro professoras que concluíram o curso. Os dados referentes às professoras Tatiana e Denise estão detalhados em artigo anterior, conforme explicitado na página 1.

Quadro 4. Comparativo entre os minicursos.

Nível de engajamento da proposta	Aspectos incorporados nos minicursos	Concepções alternativas	História da Ciência	Filosofia da Ciência	CTSA	Atividades de desenvolvimento e reflexão dos alunos.	Avaliação
<p>Mais engajada</p>  <p>Menos engajada</p>	Professoras						
	Greice	X	X	X	X	X	Formativa
	Tatiana	X	X	X	X (Não teve tempo para aplicar)	X	Formativa
	Mariana	Não	X	X	X	X	Formativa
	Denise	Não	X	X	X	Não	Lista de Exercícios ao final da sequência.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Nesta pesquisa buscamos inserir a discussão sobre a aproximação da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências dentro das atividades de um curso de formação continuada voltado para docentes que estavam lecionando a disciplina Física no Ensino Médio na cidade de Bauru, não necessariamente formados na disciplina. A proposta procurava evidenciar as dificuldades para a mudança de postura na ação docente, além de propor um modelo de formação que favorecesse a adoção de metodologias de ensino mais voltadas para a construção de conhecimentos.

Iniciamos nosso trabalho revelando as pré-concepções das professoras sobre a construção do conhecimento científico e sobre os processos de ensino e aprendizagem, além de avaliar as opiniões dos participantes sobre a possibilidade de se inserir a História da Ciência no ensino (entrevista de grupo focal).

Os instrumentos utilizados revelaram indicadores que confirmaram os resultados de pesquisas na área de Ensino de Ciências, evidenciando a existência de noções de senso comum que as docentes possuem sobre a Ciência e sobre os processos de ensino e aprendizagem e sua influência sobre a prática docente (Gil Perez, 1991; Hashweh, 1996; Mellado, 1996; Hewson *et al.*, 1999a; 1999b; Levy & Sanmartí, 2001; Gatti, Nardi & Silva, 2004; 2010; Gatti & Nardi, 2012; entre outros).

A análise do questionário VOSTS⁷ evidenciou distorções nas concepções das participantes, revelando, por exemplo, a crença em uma imagem da Ciência centrada no conteúdo, desvinculada do aspecto social de sua construção, desenvolvendo-se de forma cumulativa muitas vezes graças a descobertas casuais.

Sobre as concepções a respeito dos processos de ensino e aprendizagem, as professoras demonstraram grande apego ao modelo tradicional, baseado na transmissão e recepção passiva de conhecimentos.

Apesar do reconhecimento da importância da aproximação da História da Ciência no ensino, durante a entrevista de grupo focal as docentes revelaram uma série de obstáculos à sua utilização em sala de aula, tais como, por exemplo, a falta de interesse e de conhecimentos prévios dos alunos, além de baixos salários e péssimas condições de trabalho para os professores.

Outro aspecto significativo é que nenhuma das participantes tinha tido contato com a Filosofia da Ciência e, dessa forma, não foram capazes de analisar suas possíveis contribuições para o ensino.

Este levantamento inicial forneceu um panorama que pôde ser usado para o planejamento do trabalho durante o curso.

Desenvolvemos nosso trabalho a fim de construir com as docentes uma postura investigativa frente aos problemas da prática.

O modelo de formação sugerido, através da utilização de um curso, demonstrou ser importante na medida em que contribuiu para aumentar os conhecimentos das participantes, além de proporcionar momentos de reflexão sobre a prática profissional.

É importante ressaltar, entretanto, que nossa proposta de formação não se refere a um desenvolvimento estanque, demasiadamente teórico e sem uma preocupação com as aplicações práticas.

O curso de formação foi apenas um ponto de partida e suas atividades presenciais foram complementadas com atividades práticas desenvolvidas em situações reais no Ensino Médio.

Alguns aspectos merecem destaque:

O curso foi o primeiro contato de todas as participantes com a Filosofia da Ciência.

Os debates desencadearam reflexões sobre os processos de ensino e aprendizagem de Ciências, já que a forma tradicional de apresentação dos conteúdos como verdades acumuladas historicamente foi questionada.

As atividades desenvolvidas, buscando enfatizar o papel investigativo da atividade docente, tais como o levantamento realizado por elas das concepções dos estudantes, com a posterior reflexão em grupo dos resultados, contribuíram para o questionamento da visão tradicional dos processos de ensino e aprendizagem, onde o professor transmite conhecimentos que são incorporados pelos estudantes.

A *Proposta Curricular do Estado de São Paulo*, ao incorporar resultados de pesquisas na área de Ensino de Ciências, não contribui para formar o professor que não tem acesso às discussões na área.

Apesar dos bons resultados obtidos e da participação ativa das professoras no processo, as

⁷ Aikenhead; Ryan (1992).

possibilidades de uma aproximação permanente da prática docente aos resultados de pesquisa estudados ainda são limitadas pelas condições adversas encontradas na realidade escolar, tais como excesso de carga horária, classes superlotadas, pressão para o cumprimento integral da proposta curricular, entre outros.

Os seminários finais para a discussão dos resultados do desenvolvimento da proposta em situações reais no Ensino Médio permitiram um intercâmbio entre as experiências das professoras, estabelecendo um diálogo aberto, onde as participantes puderam revelar as dificuldades encontradas na realização da experiência.

Apesar de considerarmos que as atividades selecionadas foram adequadas e bem desenvolvidas, isso não garante mudanças permanentes na ação docente das participantes.

Ainda que as professoras tenham apontado a importância dos elementos discutidos durante o curso para o ensino de Ciências e sua intenção de seguir utilizando as inovações debatidas, não temos elementos que indiquem quais serão as repercussões da experiência desenvolvida para a carreira docente, e nesse sentido a questão ainda permanece um tema de pesquisa.

A formação de professores comprometidos com a construção do conhecimento científico representa um grande desafio, uma vez que, a formação continuada exige um empenho constante na reflexão e aperfeiçoamento da prática pedagógica. Adams & Krockover (1997) relatam que as noções sobre os processos de ensino e aprendizagem estão tão fortemente arraigadas que podem levar anos para serem modificadas. Desta forma, a formação inicial deve preparar os indivíduos para uma atividade profissional que deve se desenvolver durante toda a vida do docente. Sem oportunidades de continuar desenvolvendo e questionado sua prática, os docentes tendem a regredir.

Outro destaque desta pesquisa refere-se à importância do trabalho colaborativo entre a universidade e as escolas da Educação Básica. O estudo mostrou que muitas das inovações na área de Ensino de Física, construídas pela pesquisa na área, não chegam ao conhecimento dos professores. Nesse sentido, não basta preparar bons materiais pedagógicos para o professor aplicar em sala de aula se ele não recebeu formação para tanto (Almeida & Nardi, 2013).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, Paul. E.; KROCKOVER, Gerald. H. Beginning Science Teacher Cognition and its origins in the preservice secondary Science Teacher Program. *Journal of Research in Science Teaching* **34** (6): 633-653, 1997.
- ADÚRIZ-BRAVO, Agustín; IZQUIERDO, Mercé; ESTANY, Anna. Una propuesta para estructurar la enseñanza de la Filosofía de la Ciencia para el profesorado de Ciencias en formación. *Enseñanza de Las Ciencias* **20** (3): 465-476, 2002.
- AIKENHEAD, Glen S.; RYAN, Alan G. Students' preconceptions about the epistemology of science. *Science Education* **76** (6): 559-580, 1992.
- ALMEIDA, Maria José P. M. de; NARDI, Roberto. Relações entre pesquisa em ensino de Ciências e formação de professores: algumas representações. *Educação e Pesquisa*, **39**(2):335-349, 2013.

- BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições, 1994.
- BERDUQUE, Jean; autores. Las Ciencias de la naturaleza através de su propia historia: un proyecto curricular para el bachillerato. In: V CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, septiembre, 1997, Murcia, Espanha. *Atas...* Murcia: Facultad de Educación, pp 237-238.
- CASTRO, Ruth Schmitz; CARVALHO, Ana Maria Pessoa. História da Ciência: como usá-la num curso de segundo grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **9** (3): 225–237, 1992.
- CAZELLI, Sibeles; FRANCO, Creso. Alfabetismo Científico: novos desafios no contexto da globalização. *Ensaio* **3** (1): pp. 145-159, 2001.
- CHALMERS, Alan. *O que Ciência afinal?* São Paulo: Brasiliense, 1993, 210 p.
- CHAUÍ, Marilena. *Convite à filosofia*. São Paulo: Ática, 1999, 424 p.
- DUARTE, M. C. M. M.; FARIA, M. A. I. T. *Didática das Ciências da natureza*. Lisboa: Universidade Aberta, 1997.
- ETNOASTRONOMIA. Scientific American Brasil, Edição Especial, v. 14, 2006.
- GARCÍA, Carlos Marcelo. *Formação de professores: para uma mudança educativa*. Portugal: Porto Editora, 1999.
- GATTI, Sandra Regina Teodoro; NARDI, Roberto; SILVA, Dirceu. A história da ciência na formação do professor de física: subsídios para um curso sobre o tema atração gravitacional visando às mudanças de postura na ação docente. *Ciência e Educação*. (Bauru), 10(3), pp. 491-500. 2004.
- GATTI, Sandra Regina Teodoro. *Análise de uma ação didática centrada na utilização da História da Ciência*. Campinas, 2005. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de Campinas.
- GATTI, Sandra Regina Teodoro; NARDI, Roberto. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física: análise de práticas pedagógicas realizadas em atividades de formação continuada de professores. In: *Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciência*, novembro de 2009, Florianópolis. Florianópolis: UFSC, 2009. pp. 1-12. ISSN 21766940.
- GATTI, Sandra Regina Teodoro; NARDI, Roberto; SILVA, Dirceu. História da ciência no ensino de Física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, **15**(1), pp. 7-59, 2010.
- GATTI, Sandra Regina Teodoro; NARDI, Roberto. Pedagogical practices carried out during an in-service teachers education project: Approaching history and philosophy of science to physics teaching. *Latin - American Journal of Physics Education*, v. 6, p. 344-347, 2012.
- GIL PEREZ, Daniel. Que hemos de saber y saber hacer los profesores de Ciencias? *Enseñanza de las Ciencias* **9** (1): 69-77, 1991.
- HASHWEH, Maher Z. Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching* **33** (1): 47-63, 1996.
- HEWITT, Paul. *Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- HEWSON, Peter W.; TABACHNICK, B. Robert; ZEICHNER, Kenneth M.; BLOMKER, Kathryn B.; MEYER, Helen; LEMBERGER, John; MARION, Robin; PARK, Hyun-Ju; TOOLIN; Regina. Educating prospective teachers of Biology: introduction and research methods. *Science Education* **83**: 247-273, 1999 (a).

- HEWSON, Peter. W.; TABACHNICK, B. Robert; ZEICHNER, Kenneth M.; LEMBERGER, John. Educating prospective teachers of Biology: findings, limitations and recommendations. *Science Education* **83**: 373-384, 1999 (b).
- LABURU, Carlos Eduardo; ARRUDA, Sergio de Melo; NARDI, Roberto. Pluralismo Metodológico no Ensino de Ciências. *Ciência e Educação* **9** (2): 247- 260, 2003.
- LEVY, Maria Inés Copello; SANMARTÍ PUIG, Neus. Fundamentos de un modelo de formación permanente del profesorado de Ciencias centrado em la reflexión dialógica sobre las concepciones y las prácticas. *Enseñanza de las Ciencias* **19** (2): 269-283, 2001.
- MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **24** (1): 112-131, 2007.
- MATTHEWS, Michael R. Historia, Filosofía e enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Revista Enseñanza de Las Ciencias* **12** (2): 255-271, 1994.
- McCOMAS, Willian F.; ALMAZROA, Hiya. The Nature of Science in Science Education: an introduction. *Science & Education* **7**: 511-532, 1998.
- MELLADO, V. Concepciones y prácticas de aula de profesores de Ciencias, en las formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias* **14** (3): 289-302, 1996.
- MENEZES, Luis Carlos. Novo método para ensinar Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **2** (2): 89-97, 1980.
- MONK, Martin; OSBORNE, Jonathan. Placing the History and Phylosophy of Science on the curriculum: a model for development of Pedagogy. *Science Education* **81** (4): 405–424, 1997.
- OMNÉS, Roland. *Filosofia da Ciência Contemporânea*. São Paulo: Unesp, 1996, 320p.
- OSTERMANN, Fernanda. A epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13** (3): 184-196, 1996.
- ROBILOTTA, Manuel Roberto. O cinza, o branco e o preto - da relevância da História da Ciência no Ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **5** (n. esp.): 7-22, 1988.
- SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz. Mudança conceitual em sala de aula: um desafio pedagógico epistemologicamente fundamentado. Portugal: Porto Editora, 1998, 264 p.
- SANTOS, Wildson Luis Pereira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma Análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio* **12** (2): 1-23, 2002.
- SILVEIRA, Fernando Lang. A Filosofia da Ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13** (3): 197-218, 1996 (a).
- SILVEIRA, Fernando Lang. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **13** (3): 219-230, 1996 (b).
- TEODORO, Sandra Regina. *A História da Ciência e as concepções alternativas de estudantes como subsídios para o planejamento de um curso sobre atração gravitacional*. Bauru, 2000. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA A LA FILOSOFÍA DE LA PSICOLOGÍA: AVATARES EN UN CAMBIO CURRICULAR

Zuraya Monroy-Nasr*
Rigoberto León-Sánchez*
Germán Alvarez-Díaz de León*
Kirareset Barrera García*
Fernando Flores Camacho**
Leticia Gallegos Cázares**
Elena Calderón Canales**

Resumen: *En este trabajo presentamos una nueva propuesta para articular el conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia y la psicología como disciplina científica, en sus diversas tradiciones de pensamiento. Esta propuesta se da en el contexto de la reciente modificación curricular de la Licenciatura en Psicología de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Asimismo, presentamos los resultados de la investigación que desarrollamos, sobre las concepciones acerca de la ciencia en los estudiantes de la primera generación del nuevo plan de estudios, al inicio del curso de Filosofía de la Psicología (febrero de 2010).*

Palabras-clave: *filosofía de la psicología; naturaleza de la ciencia; concepciones acerca de la ciencia en estudiantes*

FROM PHILOSOPHY OF SCIENCE TO PHILOSOPHY OF PSYCHOLOGY: VICISSITUDES OF A CURRICULAR CHANGE

Abstract: *In this paper we present a new proposal to articulate knowledge on the nature of science and psychology as a scientific discipline in its diverse traditions of psychological thought. This proposal has been elaborated in the context of recent curricular changes in the License in Psychology in the National Autonomous University of Mexico (UNAM). Also, we present the results of a study developed at the beginning of the course on philosophy of psychology (February, 2010) on the conceptions about science in students from the first generation of the new curriculum.*

Key-words: *philosophy of psychology; nature of science; students' conceptions of science*

*Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México;

**Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México.
Correspondencia: Facultad de Psicología, UNAM, Av. Universidad 3004, Col. Copilco-Universidad, México, D.F., CP 04510. E-mail: zuraya03@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La modificación curricular en el plan de estudios de la Licenciatura en Psicología impartida en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), permitió incluir nuevas asignaturas para la formación profesional del psicólogo.

Para algunos académicos de dicha facultad, asignaturas como Filosofía de la Ciencia, impartida en el plan de estudios anterior, resultaban inútiles y, en consecuencia, defendían que en el nuevo plan se incluyeran únicamente asignaturas que versaran sobre contenidos netamente disciplinares. Otros profesores sostuvimos que la enseñanza de la naturaleza de la ciencia, contextualizada en un marco histórico y filosófico, coadyuva de mejor manera a la comprensión de la psicología como una disciplina científica. Finalmente, la asignatura Filosofía de la Psicología pudo ser incluida en el 4º semestre del nuevo plan de estudios. Asimismo, varios docentes que impartimos esta materia consideramos necesario llevar a cabo investigaciones que no sólo permitieran dar un mayor y mejor sustento a su inclusión dentro del plan de estudios, sino, a la vez, examinar tanto los contenidos mismos de la asignatura como las concepciones que poseen los estudiantes respecto de la filosofía de la ciencia.

Así, de acuerdo con lo anterior, en este trabajo comentaremos, en primer lugar, acerca de la necesidad de proponer un programa que articule el conocimiento sobre la naturaleza de la ciencia (NOS, por las siglas en inglés de *nature of science*) y el conocimiento psicológico, en sus diversas tradiciones de pensamiento. Posteriormente, presentaremos los avances de un estudio que examinó las concepciones acerca de la NOS en 276 estudiantes de la primera generación (2009) del nuevo plan de estudios en el inicio del curso de Filosofía de la Psicología. Para este estudio se aplicó un cuestionario con ocho preguntas y cuatro opciones de respuesta que representan alguna concepción acerca de la ciencia: empirismo, concepción estándar, racionalismo y relativismo-constructivismo. Los datos encontrados indican que los participantes tienden a elegir, básicamente, entre dos opciones: concepción estándar y relativismo-constructivismo. Así, por ejemplo, el 61.6% de los participantes eligieron una concepción estándar al considerar el papel de la observación en el desarrollo del conocimiento científico. Sin embargo, con respecto de la función del científico, el 60.9% se inclinó hacia una posición relativista-constructivista. Con todo, en algunos casos, cuando se trata de considerar la función de la experimentación, los participantes se dividen entre las cuatro opciones casi en la misma proporción. Conocer las concepciones de nuestros estudiantes sobre la ciencia, permitirá adecuar los contenidos del programa, así como establecer mejores estrategias de enseñanza.

2. DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA A LA FILOSOFÍA DE LA PSICOLOGÍA

La modificación curricular de la Licenciatura en Psicología de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) comenzó a implementarse en agosto de 2008. Este proceso permitió reorganizar contenidos y proponer nuevas asignaturas para la formación profesional del psicólogo. Una controversia importante se sostuvo con algunos docentes quienes rechazaban que asignaturas como Lógica o Filosofía de la Ciencia continuaran impartándose, argumentando que el nuevo plan de estudios sólo debía incluir materias que versaran sobre contenidos propiamente disciplinares. Por el contrario, algunos otros profesores

consideramos que asignaturas como aquellas son importantes para la formación integral del psicólogo. Sostuvimos que la comprensión de la naturaleza de la ciencia contextualizada en un marco histórico y filosófico contribuye a la comprensión de la psicología como una disciplina científica y evita que la enseñanza profesional de la disciplina se reduzca a la simple transmisión de un conjunto de prácticas sin la suficiente comprensión teórica ni científica.

En el plan de estudios anterior, vigente desde los años '70 del siglo pasado, se impartían las asignaturas de Lógica Simbólica y Semántica (en el 1º. semestre) y Filosofía de la Ciencia, en el 2º. semestre. En el nuevo plan ambas asignaturas fueron eliminadas, pero se introdujeron dos nuevas asignaturas: Historia de la Psicología y Filosofía de la Psicología. Asimismo, con esta nueva propuesta se trataron de evitar algunos de los problemas que se habían detectado anteriormente. Es decir, en nuestra opinión, dos de los principales problemas que enfrentaba la asignatura Filosofía de la Ciencia en el plan de estudios anterior, eran: 1) su ubicación en el 2o. semestre (cuando los alumnos aún no habían profundizado todavía en el conocimiento de las distintas teorías psicológicas) y, 2) el programa de estudio, el cual resultaba abstracto, así como orientado y ejemplificado con base en un modelo de las ciencias naturales).

De esta manera, al proponer la asignatura de Historia de la Psicología, para ser impartida en el 1º. semestre, se intentó estructurar una materia que fungiera como fuerza integradora del nuevo *currículum* y cuya finalidad es inducir en los estudiantes el pensamiento crítico sobre aspectos epistémicos y metodológicos de nuestra disciplina (Fuchs & Viney, 2002, p. 5).¹ En el caso de la Filosofía de la Psicología no intentamos reproducir contenidos de la filosofía de la ciencia, sino que procuramos superar los problemas que presentaba antes tal disciplina. Se trata ahora de una asignatura ubicada en el 4º. semestre y que se imparte a estudiantes que han recorrido ampliamente las distintas tradiciones del pensamiento psicológico y sus problemáticas.² En suma, con la incorporación de Historia y Filosofía de la Psicología intentamos formar un bloque de asignaturas que permita al psicólogo en formación, principalmente, a) comprender la diversidad teórica y metodológica de su disciplina; b) reflexionar sobre la naturaleza de una disciplina heterogénea como es la psicología así como sobre el carácter científico de las tradiciones de pensamiento psicológico que la conforman y, c) tener un pensamiento crítico, amplio y bien fundado sobre las explicaciones que la psicología contemporánea provee.

3. FILOSOFÍA DE LA PSICOLOGÍA Y LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

El plan de estudios que estuvo vigente por casi 40 años en nuestra facultad siguió, en buena medida, los cánones de la psicología experimental norteamericana. Por varias décadas esto significó la hegemonía del conductismo, con el predominio de una concepción de ciencia inductivista estrecha. Para algunos docentes la presencia de asignaturas como Lógica y Filosofía de la Ciencia obedecía a la orientación positivista lógica del plan de estudios. Esto podía ser bien visto por algunos y criticado por otros.

¹ No abundaremos sobre el tema. Cf. Z. Monroy-Nasr, G. Alvarez y R. León-Sanchez, 2009.

² Adoptamos y adaptamos el término "tradicición" de la definición de L. Laudan donde tradición de investigación es "un conjunto general de asunciones sobre las entidades y procesos en un dominio de estudio, y acerca de los métodos apropiados a usarse para investigar los problemas y construir las teorías en ese dominio" (1977, p. 81).

Al entrar en crisis la concepción conductista, sin que se modificase la estructura curricular, varios docentes se orientaron hacia concepciones como la hermenéutica o el relativismo, cuestionando no sólo cierta concepción de ciencia, sino el quehacer científico mismo. La descripción que M. Matthews (1998, p. xiii) hace de la llamada "Guerras de la ciencia"³ de la década de '90 y el cambio en el acuerdo cultural sobre la bondad de la ciencia, se vivió en el microcosmos de nuestra facultad.⁴ Así, quienes pensamos, en un sentido amplio, que la psicología que enseñamos es o debe ser científica, nos encontramos atrapados en esta guerra (y nos negamos a ser daño colateral).

Por ello, consideramos que el cambio curricular era una labor que nos permitiría proponer una asignatura como Filosofía de la Psicología para vincular el contenido psicológico propio de las distintas tradiciones psicológicas con la reflexión acerca de la naturaleza de la ciencia. Por otra parte, consideramos que ello nos permitiría promover la formación y actualización de los profesores que imparten esa asignatura y, en el mediano plazo, abrir la formación y el debate a otros docentes.

En las tres unidades que conforman este programa se presenta:

Unidad 1. Psicología y ciencia. Los objetivos se dirigen a que el estudiante comprenda nociones básicas como hipótesis, inferencias deductiva e inductiva, teoría, tipos de explicaciones y leyes. Los alumnos han estudiado hipótesis, teorías o explicaciones psicológicas durante tres semestres, pero en ninguna asignatura hablaron de qué son estas nociones en la disciplina de la ciencia. Como señalan McComas *et al.* (1998, p. 12), es común que los profesores de una determinada disciplina científica tampoco lo sepan. De ahí la importancia de ofrecerlo para la reflexión del estudiante. Enfatizamos también dos asuntos: el papel de la creatividad y el papel de la contrastación, insistiendo en que no es sinónimo de "experimentación". Hempel (2003) es un autor fundamental en esta unidad.

Unidad 2. Los paradigmas psicológicos y su fundamentación desde la filosofía de la ciencia. Esta unidad comienza con un breve recorrido por la historia de la filosofía de la ciencia, mostrando sus distintas transformaciones, desde el siglo XIX hasta el XX (Guedán, 2001). De forma substancial se decidió presentar textos que permiten la controversia sobre una tradición de pensamiento psicológico y las características de la ciencia. Por ejemplo, se examinan los argumentos de M. Bunge (1980) y G. Klimovsky (1997) sobre el psicoanálisis y sus respectivas concepciones de ciencia⁵ y se promueven la reflexión de los alumnos y el debate considerando estos argumentos. Se hace lo mismo con otros textos propios de las tradiciones cognoscitiva, conductual y psicosocial (Ibañez, 1992; Pozo, 2006).

Unidad 3. Sujeto y conocimiento. En esta unidad el estudiante analiza la relación sujeto-objeto-conocimiento desde diversas posturas filosóficas (racionalismo, empirismo, positivismo, fenomenología) considerando su relación con tradiciones contemporáneas de pensamiento en psicología.

³ Matthews se refiere a la batalla intelectual entre defensores de la objetividad científica y críticos postmodernistas.

⁴ Vale la pena mencionar aquí que la Facultad de Psicología de la UNAM tiene 503 académicos y 3,800 estudiantes aproximadamente. Lo que sucede en nuestra escuela repercute en 14 escuelas de psicología incorporadas a la UNAM (la mayor universidad en México con 290,000 estudiantes).

⁵ Particularmente agradecemos a Ana Couló el apoyo que nos brindó con los materiales bibliográficos para esta unidad.

Al estructurar de esta manera el programa de la asignatura Filosofía de la Psicología asumimos, como punto de partida, que la comprensión sobre la naturaleza de la ciencia es fundamental para la enseñanza de cualquier disciplina científica. Como lo dicen Driver *et al.*, comprender la naturaleza de la ciencia "apoya el aprendizaje exitoso de los contenidos científicos" (Driver *et al.*, 1996, p. 20; en McComas, 1998, p. 11). En el caso de la enseñanza de la psicología, el conocimiento sobre la NOS adquiere una gran relevancia ya que se trata de una disciplina heterogénea, cuyo *status* científico ha sido cuestionado desde que surgió. Por ello, nuestra propuesta curricular procura que el estudiante alcance una comprensión de la psicología actual con base en la historia y la filosofía de la ciencia y de su propia disciplina.

4. ESTUDIOS SOBRE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

La naturaleza de la ciencia no es un dominio sobre el cual haya acuerdos completos. McComas, Clough & Almazroa han enlistado los acuerdos (1998, pp. 6-7) o las afirmaciones (McComas & Olson, 1998, pp. 44-48) que aparecen como criterios sobre la naturaleza de la ciencia en documentos de reconocidas instituciones internacionales. No obstante, no todas reconocen los mismos criterios, ni dejan de presentarse desacuerdos y dilemas.

Los datos obtenidos en las investigaciones que han examinado las concepciones de los estudiantes (o de quienes enseñan ciencias en diversos niveles educativos) sobre la naturaleza de la ciencia, muestran el énfasis sobre los contenidos empíricos y un gran desconocimiento sobre la generación del conocimiento científico (McComas, 1998, p. 4). Otros estudios nos hablan de problemas concomitantes como son las ideas previas o representaciones implícitas sobre la naturaleza de la ciencia en estudiantes y/o profesores y que se tornan un obstáculo para el aprendizaje de la ciencia (Clough, 1995; Lederman 1992; Meyling 1997). En el caso de México se han realizado algunos estudios importantes y reveladores sobre las concepciones de ciencia en investigadores (Alvarado, 2005; Alvarado & Flores, 2001) y en profesores de ciencias de nivel secundaria (Flores *et al.*, 2007a; Flores; Gallegos & Reyes, 2007b).

En el contexto de la Facultad de Psicología de la UNAM, sabemos que nuestros alumnos han estado expuestos a las concepciones de sus profesores de ciencias en todos los niveles anteriores y de los profesores de psicología al menos durante tres semestres. Sin embargo, nos parece importante conocer, antes de que los estudiantes sean expuestos a una asignatura donde estudiarán aspectos substantivos de la naturaleza de la ciencia, sus concepciones al respecto.

5. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Conocer las concepciones sobre la naturaleza de ciencia de la primera generación de estudiantes del nuevo plan de estudios, antes de cursar la asignatura de Filosofía de la Psicología.

6. METODOLOGÍA

Se aplicó un cuestionario a 276 alumnos (220 mujeres y 56 hombres) del 4º. semestre de la carrera de Licenciado en Psicología. 173 (62.7%) de los participantes pertenecían al turno matutino y 103 (37.3%) al vespertino. Con respecto a la edad, 225 participantes (81.5%) tenía entre 19 y 20 años; 25 (9.1%) entre 22 y 30 años; 21 (7.6%) tenían 21 años y 5 (1.8%) 18 años

de edad. El cuestionario que respondieron los participantes constó de 8 preguntas.⁶

1. *¿Cuál es el papel o función que tiene la observación para el desarrollo del conocimiento científico?*
2. *¿Cuál es la función de un científico?*
3. *¿Qué acciones deberían seguirse para generar conocimiento científico?*
4. *¿Por qué es necesaria la experimentación para la elaboración del conocimiento científico?*
5. *¿Por qué se debe tener confianza en el conocimiento científico?*
6. *¿Es el conocimiento científico la verdad?*
7. *¿Qué es la ciencia?*
8. *¿Cómo avanza la ciencia?*

Cada una de las preguntas tiene cuatro opciones de respuesta que representan alguna concepción acerca de la ciencia: empirismo, concepción estándar, racionalismo y relativismo-constructivismo. Una breve síntesis de las características de cada una de estas concepciones se encuentra en el Anexo 1.

6.1 Resultados por pregunta:

- (1) *¿Cuál es el papel o función que tiene la observación para el desarrollo del conocimiento científico?*

El 61.6% tiende hacia una respuesta de la concepción estándar, es decir, están de acuerdo que los datos proporcionados por la observación no son puros, sino que son interpretados con ayuda de los conceptos teóricos de una ciencia particular y, que a partir de ellos, se elaboran leyes y conocimientos para que puedan ser contrastados. Las respuestas restantes se distribuyen entre concepciones empiristas (15.6%), racionalistas (12.3%) y relativistas-constructivistas (10.5%).

- (2) *¿Cuál es la función de un científico?*

En esta pregunta, el 60.9% de los participantes tiende a una respuesta de corte relativista-constructivista. Así, para ellos, la función del científico es construir teorías que, si bien no son definitivas, permiten interpretar fenómenos de la naturaleza y brindar explicaciones plausibles así como dar solución a problemas específicos. El restante 39.1% asume concepciones racionalistas (16.3%), o de la concepción estándar (15.6%) o bien, empiristas (7.2%).

- (3) *¿Qué acciones deberían seguirse para generar conocimiento científico?*

Ante esta pregunta, el 41.3% asume una posición cercana a la posición estándar; es decir, están de acuerdo que deberían de elaborarse posibles teorías, o modelos, a partir de hipótesis que permitan interpretar y predecir situaciones o fenómenos naturales y, con ello, contrastar de manera permanente si las hipótesis son falsas. Con un 25.4% le sigue quienes eligieron una concepción más cercana a la posición relativista-constructivista, seguida de las posiciones racionalista (18.5%) o empirista (14.9%).

⁶ El cuestionario utilizado es una variante del elaborado y aplicado por Flores *et al.* en sus investigaciones sobre la naturaleza de la ciencia en profesores de biología (2007a) y de química (2007b) en el nivel secundario. La principal diferencia es que sólo se utilizaron las preguntas con opción cerrada de respuesta.

(4) ¿Por qué es necesaria la experimentación para la elaboración del conocimiento científico?

En cuanto a esta pregunta, vemos que los participantes, casi en la misma proporción (cerca al 30%), tienden a elegir entre tres distintas posiciones: empirista (27.2%), concepción estándar (31.9%) y racionalista (26.4%). El restante 14.5% pertenece a quienes eligieron una respuesta cercana a la posición relativista-constructivista.

(5) ¿Por qué se debe tener confianza en el conocimiento científico?

Por encima del 50%, los participantes se decantan por una posición cercana a la concepción estándar (54.0%). Mientras que un 24.6% lo hace por el racionalismo, un 18.1% por el relativismo-constructivismo y sólo un 3.3% por el empirismo. Es decir, para los participantes se debe tener confianza en el conocimiento científico dado que éste es un conocimiento que está lógicamente organizado y comprobado experimentalmente, y porque que se aproxima cada vez más a la verdad.

(6) ¿Es el conocimiento científico la verdad?

Sin embargo, cuando se pregunta de manera explícita si el conocimiento científico implica la "verdad", el 60.5% eligen una respuesta cercana a una posición relativista-constructivista. Es decir, si bien están de acuerdo que el conocimiento científico es la mejor explicación hasta el momento para interpretar la naturaleza, consideran que no tiene cómo demostrar que es verdadero o que logra explicar la realidad. No obstante, el restante 39.5% responde afirmativamente a esta pregunta; 20.7% se decantan por la concepción estándar, 11.2% por el empirismo y el 7.6% por el relativismo-constructivismo.

(7) ¿Qué es la ciencia?

Ante esta pregunta, el 39.5% de los participantes eligen una posición cercana al relativismo-constructivismo. Es decir, asumen que la ciencia es un conjunto de teorías transitorias que permiten construir la mejor representación de la naturaleza, pero no es posible probar que corresponde con la realidad. Sin embargo, un 33.3% tiende a una posición más cercana a la concepción estándar, por ejemplo, asumen que la ciencia es un conjunto de enunciados organizados, coherentes y verificables que explica el comportamiento de la naturaleza. Por su parte, el 22.8% tiende hacia una posición racionalista y sólo un 4.3% hacia una posición empirista.

(8) ¿Cómo avanza la ciencia?

Finalmente, al igual que en el caso anterior, los participantes se distribuyen entre posiciones de la concepción estándar (23.6%) y el relativismo-constructivismo (37.3%), pasando por el 29.7% de quienes se adhieren a la posición racionalista, sin que, en sentido estricto, exista una prevalencia de alguna posición sobre las otras.

En la Tabla 1 se muestra la distribución de las respuestas en cada una de las preguntas. Así, podemos apreciar que la posición relativista-constructivista tiene una alta incidencia de selección en las preguntas 2 y 6, es decir, en aquellas preguntas que tienen que ver con la función del científico y con la relación entre conocimiento científico y verdad, respectivamente. Mientras que en las preguntas 1, 3 y 5 existe una clara incidencia de la

concepción estándar. Por último, encontramos que la elección de respuesta en las preguntas 7 y 8 se distribuye de manera similar entre la concepción estándar, racionalista y relativista-constructivista.

De manera muy llamativa, cuando se pregunta por el papel de la experimentación en la generación del conocimiento científico (Pregunta 4), los participantes tienden a elegir argumentos relativos al empirismo y a la concepción estándar.

Tabla 1. Porcentajes de respuesta por pregunta y por posición epistemológica.

Pregunta	%			
	Empirismo	C. Estándar	Racionalismo	Constructivismo
1	15.6	61.6	12.3	10.5
2	7.2	15.6	16.3	60.9
3	14.9	41.3	18.5	25.4
4	27.2	31.9	26.4	14.5
5	3.3	54.0	24.6	18.1
6	11.2	20.7	7.6	60.5
7	4.3	33.3	22.8	39.5
8	9.4	23.6	29.7	37.3
Promedio	11.64	35.25	19.77	33.34

Como una consecuencia de la distribución anterior, podemos observar que los participantes tienden casi con la misma probabilidad hacia posiciones de la concepción estándar y relativista-empirista. En otras palabras, los participantes no mantienen una "posición epistemológica pura", eligen, dependiendo de la pregunta, una u otra posición.

Haciendo un análisis de la frecuencia (baja, media o alta) con la cual los participantes eligen una u otra opción epistemológica encontramos lo siguiente (véase Tabla 2):

Tabla 2. Porcentajes de respuesta por concepción.

	Empirismo	Concepción-Estándar	Racionalismo	Relativismo-Constructivismo
%				
Alto	0.0	1.8	.7	5.4
Medio	7.2	55.8	23.6	43.1
Bajo	92.8	42.4	75.7	51.4

Como puede observarse, todas las concepciones tienen un bajo porcentaje de elección, es decir, los alumnos no tienen una concepción definida que elegir. Sin embargo, es claro que no se decantan por una aproximación empirista, ese 92.8% así lo señala.

7. A MANERA DE CONCLUSIÓN

Los datos obtenidos nos muestran que los estudiantes no identifican las características de la ciencia propias de las principales concepciones filosóficas de la ciencia. Por lo tanto, ellos no tienen una posición epistemológica "pura", afín a una sola concepción, sino que las combinan de acuerdo a lo que se requiere. Sin hacer una comparación estricta con estudios realizados en muestras de profesores de ciencias (Flores *et al.*, 2007a; Flores, Gallegos & Reyes, 2007b),

cabe señalar cierta tendencia similar en tanto que la concepción menos aludida es la empirista y las concepciones predominantes, casi en igual proporción, son la relativista-constructivista y la estándar.

Coincidimos con lo dicho por Matthews (1997) en cuanto a que la enseñanza de la naturaleza de la ciencia no tiene como propósito adoctrinar sino proporcionar argumentos con el fin de fundamentar una posición determinada. Por otra parte, los resultados obtenidos son interesantes dado que nos permitirán examinar la estructura del programa de Filosofía de la Psicología y analizar si los contenidos apoyan la comprensión de la naturaleza de la ciencia en términos de los acuerdos fundamentales, así como de las razones epistemológicas propias de las principales concepciones en filosofía de la ciencia. En nuestro caso, nos interesa particularmente que los psicólogos en formación puedan reconocer estas concepciones en el seno de las tradiciones de pensamiento psicológico que están estudiando. Además de revisar y adecuar el programa de estudios, nos proponemos mejorar las estrategias de enseñanza y, sobre todo, promover la formación y actualización de los docentes.⁷

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del proyecto de investigación: *Instrumentos científicos históricos, cognición y enseñanza de la ciencia* [DGAPA-PAPIIT IN 401809], con sede en la Facultad de Psicología, UNAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, María Eugenia. *Desarrollo y concepciones de ciencia en la UNAM*. México, 2005. Tesis de doctorado, México: Facultad de Filosofía y Letras-División de Estudios de Posgrado- UNAM.
- ALVARADO, María Eugenia; FLORES Fernando. Concepciones de ciencia de investigadores de la UNAM. Implicaciones para la enseñanza de la ciencia. *Perfiles Educativos XXIII* (92): 32-53, 2001.
- BUNGE, Mario. *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona: Ariel, 1980.
- CLOUGH, Michael. Longitudinal understanding of the nature of science as facilitated by an introductory high school biology course. Pp. 202-211, in: FINLEY, F., ALLCHIN, D., RHEES, D. & FITFIELD, S. (eds). *The Proceedings of the Third International History, Philosophy and Science Teaching Conference*, Vol. II, Minneapolis, MI, University of Minnesota, 1995.
- DRIVER, Rosalind; LEACH, John; MILLAR, Robin; SCOTT, Phil. *Young people's images of science*. Philadelphia: Open University press, 1996.
- FLORES, Fernando; GALLEGOS, Leticia; BONILLA, Xóchitl; LÓPEZ, Iris; GARCÍA, Beatriz. Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia de los profesores de biología del nivel secundario. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* **12** (32): 359-380, 2007 (a).
- FLORES, Fernando; GALLEGOS, Leticia; REYES, Flor. Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química. *Perfiles Educativos XXIX* (116): 60-84, 2007 (b).

⁷ Al respecto tomamos en consideración las ventajas y desventajas de los cursos formales o unidades de estudio sobre la NOS, planteadas por McComas, Clough, M. P. & Almazroa (1998, p. 32).

- FUCHS, Alfred; VINEY, Wayne. The course in the history of psychology: present status and future concerns. *History of psychology* 5 (1): 3-15, 2002.
- GUEDÁN, Pécker. La noción de paradigma y su aplicación a la psicología. Pp. 11-46, in: CHACÓN, Pedro (ed.). *Filosofía de la psicología*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2001.
- HEMPEL, Carl. *Filosofía de la Ciencia Natural*. Madrid: Alianza Universidad, 2003.
- LEDERMAN, Norman. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching* (29): 331-359, 1992.
- IBÁÑEZ, Tomás. ¿Cómo se puede no ser construccionista hoy en día? *Revista de Psicoterapia* 3 (12): 17-28, 1992.
- KLIMOVSKY, Gregorio. Acerca del carácter científico del psicoanálisis. Pp. 167-176, in: WAGNER, Alejandro (comp.). *Psicoanálisis y ciencia*. Buenos Aires: Dunken, 1997.
- LAUDAN, Larry. *Progress and its problems: Towards a theory of scientific growth*. London: Routledge & K. Paul, 1977.
- MATTHEWS, Michael. Editorial. *Science & Education* 6 (4): 323-329, 1997.
- MATTHEWS, Michael. Foreword and Introduction. Pp. xi-xxi, in: McCOMAS, William (ed.). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Startegies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- McCOMAS, William; CLOUGH, Michael; ALMAZROA, Hiya. The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. Pp. 3-39, in: McCOMAS, William (ed.). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Startegies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- McCOMAS, William; OLSON, Joanne. The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. Pp. 41-52, in: McCOMAS, William (ed.). *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Startegies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- MEYLING, Heinz. How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education* (6): 397-416, 1997.
- MONROY-NASR, Zuraya; ALVAREZ, G.; LÉON-SANCHEZ, R. The Challenge of Teaching History of Psychology: a New Curriculum, a New Program and the Students' Previous Ideas. In: PROCEEDINGS IHPST 10th INTERNATIONAL CONFERENCE, Junio 2009, University of Notre Dame, 2009. Pp. 1-13. <http://www.nd.edu/~ihpst09/papersgiven.html>
- POZO, Juan. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Ediciones Morata, 2006.



TIPOGRAPHIA
www.tipografia.com.br

