

A analogia é um tipo de pensamento usado tanto pelo senso comum como pela ciência. Um dos primeiros recursos que a ciência utiliza para dar sentido a fenômenos e objetos novos é a analogia. A área de física de partículas, por exemplo, está povoada por propriedades das partículas definidas por analogia, como "cor", "sabor" etc. Só que, à medida que a ciência avança, ela tende a sofisticar as analogias e mesmo a suprimi-las. Por isso, não concordamos que o uso de analogias possa suprimir a explicitação e discussão de idéias prévias e alternativas em sala de aula, mesmo que o custo desse processo possa ser maior em termos de tempo e necessidade de preparação do professor. O problema de se usar a analogia como alternativa à explicitação de idéias prévias, na crença de que esse processo levará à superação de pré-concepções, é que estaremos usando as mesmas armas do inimigo que se quer derrotar. É importante usar armas mais avançadas, que ajudem o aluno a derrotar os obstáculos que impedem a construção de novas idéias e, ao mesmo tempo, sejam úteis em lutas futuras. O processo de explicitação de idéias em sala de aula, mais do que possibilitar um aprendizado de conteúdos científicos, dá aos estudantes uma arma fundamental para enfrentar a ciência e a vida: a crítica.

CRITICANDO ALGUNS PRESSUPOSTOS PSICOLÓGICOS E FILOSÓFICOS DAS ESTRATÉGIAS APRESENTADAS

As estratégias de ensino-aprendizagem descritas parecem ter, explícita ou implicitamente, uma expectativa comum em relação às idéias prévias dos estudantes: elas deverão ser abandonadas e/ou subsumidas no processo de ensino. Nas

estratégias que usam o conflito cognitivo, esse destino das idéias dos estudantes é o resultado da superação da contradição, tanto entre idéias e eventos discrepantes como entre idéias conflitantes que se referem a um mesmo conjunto de evidências. Nas estratégias baseadas em analogias, é o resultado de as idéias iniciais serem integradas e subsumidas numa idéia mais poderosa.

Esta expectativa tem sua origem numa visão construtivista de aprendizagem como um "processo adaptativo no qual os esquemas conceituais dos aprendizes são progressivamente reconstruídos de maneira a concordarem com um conjunto de experiências e idéias cada vez mais amplo" (DRIVER, 1989. p.482). De acordo com esse tipo de visão, "concepções conflitantes não podem ser simultaneamente plausíveis para uma pessoa" (HEWSON & THORLEY, 1989. p.543). Essas visões também têm raízes na epistemologia piagetiana e se baseiam na idéia de que o desenvolvimento do conhecimento leva à construção de estruturas conceituais cada vez mais poderosas.

Nessa visão, é possível reconhecer a gênese de qualquer idéia, ligando seus estágios mais avançados aos mais elementares. Fodor resume esse princípio da teoria piagetiana do seguinte modo:

Uma criança em desenvolvimento constitui uma série de lógicas tais que cada lógica contém literalmente a precedente, sendo a relação "contém" assimétrica. As lógicas tornam-se cada vez mais fortes, no sentido em que cada lógica ulterior contém a lógica anterior como uma de suas partes. (FODOR, 1983. p.190)

Piaget concorda com essa caracterização ao comentar que "o que é perfeitamente exato é a idéia de que toda a estrutura se converte em subconjunto de uma estrutura mais rica" (comentário de Piaget à intervenção de Fodor, em PIATELLI-PALMARINI, 1983. p.193). Como consequência, não está claro, na teoria piagetiana, o lugar das idéias de senso comum. Poderíamos concluir, por exemplo, que os cientistas não as usariam, uma vez que, como sujeitos lógico-formais, as teriam superado, incorporando-as em idéias mais racionais?

No entanto, essa característica do sujeito epistêmico piagetiano parece não prevalecer na vida cotidiana. Uma pessoa com formação científica poderia rir da ingenuidade do pensamento infantil, capaz de inventar a entidade frio em contrapartida ao calor, e de distinguir duas formas de "energia" que podem fluir de um corpo ao outro: o calor e o frio (ERICKSON, 1985). No entanto, no seu cotidiano, essa pessoa continuará a usar esses conceitos de uma forma muito natural. Mesmo porque soaria pedante alguém afirmar que "vestiu uma blusa de lã porque ela é um bom isolante térmico, impedindo que o corpo ceda calor para o ambiente". Ora, nós vestimos lã porque ela é quente e nós estamos com frio. Não há aí nenhum vestígio de concepções ingênuas, mas o uso da palavra calor num sentido de senso comum que a nossa cultura consagrou. Essa maneira de ver o mundo está largamente incorporada como uma característica da cultura. Uma pessoa poderia adquirir a capacidade de distinguir essa maneira cotidiana de ver o mundo de maneiras mais sofisticadas. Suprimir essas "concepções alternativas", no entanto, significaria suprimir o pensamento de senso comum e seu modo de expressão, a

linguagem cotidiana. Uma expectativa irreal e inútil. A linguagem cotidiana é o modo mais abrangente de se compartilhar significados e permite a comunicação entre os vários grupos especializados dentro de uma mesma língua. Suprimi-la seria instaurar uma babel, impedindo que diferentes grupos pudessem compartilhar de significados numa mesma cultura.

FRANCO & COLINVAUX-DE-DOMINGUEZ (1992), ao comentarem a obra síntese de Piaget e Garcia, *Psicogênese e História da Ciência*, detectam a falta de uma diferenciação mais clara entre conhecimento de senso comum e conhecimento científico na epistemologia piagetiana. Para Piaget e Garcia,

o conhecimento científico não é uma categoria nova, fundamentalmente diferente e heterogênea em relação às normas do pensamento pré-científico (...) As normas científicas situam-se no prolongamento das normas de pensamento e de práticas anteriores, mas incorporando aí duas exigências novas: a coerência interna (do sistema total) e a verificação experimental (para as ciências não dedutivas). (PIAGET & GARCIA, 1987. p.37)

FRANCO & COLINVAUX-DE-DOMINGUEZ (1992) comentam que esse não é um critério convincente para a diferença entre pensamento de senso comum e científico, uma vez que a coerência interna do sistema total é uma característica da ciência consolidada e não um aspecto distintivo do processo de fazer ciência. Muitas vezes, essa coerência interna é obtida por postulados ad hoc, como, por exemplo, o postulado da não-emissão no modelo atômico de Bohr. Os autores apontam, ainda, que isso estaria em contradição com a própria visão expressa por Piaget e Garcia em outro momento da mesma

obra, segundo a qual o desequilíbrio associado à falta de coerência interna no sistema total é um dos fatores de crescimento do conhecimento em ciência e em psicogênese.

Como consequência dessa visão de gênese e continuidade entre o pensamento de senso comum e pensamento científico e entre diferentes fases do saber científico, não está claro o papel das rupturas e dos obstáculos epistemológicos na teoria piagetiana. Apesar de os autores reconhecerem a noção de obstáculo epistemológico e considerarem que "há um tipo de 'ruptura' cada vez que se passa de um estado de conhecimento a outro, tanto na ciência como na psicogênese" (PIAGET & GARCIA, 1987. p.234), o mecanismo de equilibração não tem espaço para essas rupturas. Piaget prevê dois tipos de majoração para o seu sistema, o primeiro resultante de "um alargamento do campo do sistema, na sua extensão", e o segundo que leva a diferenciações em compreensão e não apenas em extensão: "o seu resultado, de fato, é os elementos inicialmente inassimiláveis se tornarem depois constitutivos de um novo subesquema, ou subclasse, do esquema primeiramente inoperante" (PIAGET, 1977. p.47). Dessa maneira, Piaget define a tendência ao desenvolvimento de estruturas cognitivas contínuas entre si, pois não são previstas rupturas e descontinuidades em seu sistema, uma vez que esse sempre tende a se alargar, seja em extensão ou em compreensão. Segundo Piaget,

cada esquema de assimilação compreende uma certa capacidade de acomodações, mas dentro de certos limites, que são os da não ruptura do ciclo de que esse esquema é formado, e a esse respeito é lícito falar de uma "norma de acomodações" (...) Em contrapartida, há um segundo

fator mais acessível: o número dos esquemas elementares ou dos subsistemas (esquemas ligados) já constituídos no sistema total, porque quanto maior é este número mais se amplia a norma de acomodações do esquema considerado. (PIAGET, 1977. p.49-50)

Ao lado dessa base psicológica, várias estratégias de ensino têm ainda uma base filosófica, relacionada à transposição para o processo de ensino-aprendizagem de conceitos desenvolvidos para análise de processos históricos que ocorreram na ciência. O modelo de maior influência nas estratégias para mudança conceitual é aquele que descreve o desenvolvimento científico como alternância de períodos de ciência normal e revolução científica (KUHN, 1962). A rota kuhniana do modelo de mudança conceitual, por exemplo, é explícita. POSNER et al. (1982. p.215) justificam a escolha da teoria especial da relatividade de Einstein como tópico a ser analisado pelo fato de ele ser comumente visto como o protótipo de uma revolução científica.

Os problemas dessa visão estão relacionados não só à forma como se dá a transposição de um modelo filosófico para a situação de ensino-aprendizagem, mas ao próprio modelo que é transposto. O novo campo das ciências físicas, que lida com fenômenos complexos, como sistemas auto-organizadores, sistemas caóticos etc., teria nascido em consequência de uma crise em teorias bem estabelecidas como, por exemplo, a mecânica quântica? Este novo campo teve que superar alguma tradição bem estabelecida para emergir? Parece não haver respostas positivas para essas questões. A chamada física dos sistemas complexos nasceu mais como o resultado de se voltar

a atenção para alguns sistemas que, por sua complexidade, eram impossíveis de serem estudados antes de os computadores tomarem-se parte do cotidiano dos laboratórios. Estes possibilitam o estudo de sistemas complexos ao facilitarem o uso de simulações e de soluções numéricas de equações não-lineares (DAVID, 1989). Esse novo campo nasceu, portanto, como um desenvolvimento paralelo, baseado, certamente, em novo paradigma, mas que não teve que derrotar seus antecessores.

A diferença entre os objetos de estudo em cada campo da ciência revela a impossibilidade de se aplicar um modelo geral, independente de contexto, às mudanças conceituais, mesmo àquelas que ocorram dentro de uma mesma tradição científica. Há outros exemplos na história da ciência que demonstram a impropriedade do modelo de revolução científica para descrever qualquer mudança científica. DEBUS (1978) mostra que é um engano se afirmar que a química teve que esperar mais de 100 anos pela sua "revolução newtoniana". Segundo Debus, isso seria consequência de uma transposição superficial dos modelos de historiografia da física para outras áreas científicas, que tiveram modos diferentes de desenvolvimento. O nascimento da química moderna teria raízes em tradições químicas anteriores, como a iatroquímica, por exemplo.

Além disso, na ciência como um todo, e na química em particular, temos muitos exemplos de aplicações de conceitos já tidos como ultrapassados, mas que são úteis em determinados contextos. Um químico que possua sólida cultura quântica não precisa abandonar totalmente a sua visão daltoniana do átomo, enquanto indestrutível e indivisível. Afinal, os átomos assim permanecem nos processos químicos, e para lidar com a

estequiometria de equações químicas não é necessário mais do que essa visão simplificada do átomo daltoniano.

Mesmo que o modelo de revolução científica pudesse ser aplicado a qualquer mudança conceitual na ciência, a maneira como ele foi transposto para o processo de ensino-aprendizagem desconhece as diferenças profundas entre um processo que ocorre dentro de uma cultura científica e outro, que é justamente um processo de "enculturação". Na aprendizagem de ciências, os estudantes não estão envolvidos com as fronteiras do conhecimento. Aprender ciências está muito mais relacionado a se entrar num mundo que é ontológica e epistemologicamente diferente do mundo cotidiano. Esse processo de "enculturação" pode ocorrer, também, quando se tem que aprender teorias mais avançadas. Aprender mecânica quântica para quem tem uma visão clássica do mundo tem essa mesma característica de um processo de "enculturação".

Os pressupostos psicológicos e filosóficos descritos acima parecem, implícita ou explicitamente, dar suporte teórico à expectativa de que as idéias prévias dos estudantes deverão ser abandonadas e/ou subsumidas no processo de ensino. No entanto, há vários autores que admitem explicitamente a possibilidade de que as idéias prévias dos alunos possam sobreviver ao processo de ensino-aprendizagem, e essa é uma tendência que vem crescendo nos estudos sobre mudança conceitual. Solomon, por exemplo, afirma que "não há meios para se extinguir as noções cotidianas" (SOLOMON, 1983. p.49-50). Por outro lado, CHI (1991) mostra a possibilidade da coexistência de dois sentidos para o mesmo conceito, os quais são acessados em contextos apropriados.

Além disso, alguns autores têm tentado demonstrar a dificuldade dos estudantes em abandonarem suas noções do dia-a-dia. O trabalho de GALILI & BAR (1992), por exemplo, mostra que os mesmos estudantes que tiveram um bom desempenho em problemas familiares sobre força e movimento reverterem a um raciocínio pré-newtoniano de "movimento requer força" em questões que envolvem situações novas e/ou cotidianas. Os autores concluem que "essa 'regressão' a visões ingênuas pelos mesmos sujeitos é uma evidência a mais de que o processo de substituição de crenças ingênuas por novos conhecimentos adquiridos nas aulas de Física é complicado e muitas vezes inconsistente" (GALILI & BAR, 1992. p.78).

De maneira semelhante, SCOTT (1987, 1991), ao estudar o desenvolvimento de idéias sobre a matéria entre alunos da escola secundária, conclui que mudança conceitual não parece um título apropriado para o que se observa no processo.

No lugar de mudança conceitual parece haver um desenvolvimento paralelo das idéias sobre partículas e das idéias já existentes (...) O desenvolvimento paralelo de idéias resulta em explicações alternativas que podem ser empregadas no momento e situação apropriados. Não há mudança conceitual do tipo referido por POSNER et al. (1982) como uma acomodação. (SCOTT, 1987. p.417)

Mais recentemente, tem crescido o número de autores que procuram reformular a teoria de mudança conceitual de modo a admitir a hipótese de que as pessoas podem dispor de diferentes idéias alternativas que seriam ativadas por diferentes contextos. Apoiando-se nos modelos de aprendizagem situada, CARAVITA & HALLDÉN (1994), por exemplo, argumentam a

favor dessa hipótese, afirmando que o funcionamento intelectual deve ser analisado no contexto da demanda social das tarefas. Outros autores postulam que o conhecimento cotidiano não pode ser considerado como simplesmente errôneo, destacando que eles têm valor pragmático e um caráter fenomenológico e adaptativo (CLAXTON, 1984; DISESSA, 1993). A formulação de POZO & GOMÉZ CRESPO (1998) para o problema da mudança conceitual, através da hipótese da integração hierárquica, se aproxima bastante do nosso modelo de "mudança de perfis conceituais" (MORTIMER, 1995). Segundo esses autores,

a ativação contextual de teorias alternativas não é incompatível com a necessidade de mudança conceitual entendida como a construção do conhecimento científico a partir do cotidiano. Uma nova teoria só poderá ser compreendida como tal na medida em que se diferencia conceitualmente do modelo anterior. (POZO & GÓMEZ CRESPO, 1998)

Essa formulação, como veremos, parece compatível com a idéia da construção de novas zonas do perfil conceitual e da tomada de consciência desse novo perfil (MORTIMER, 1993, 1994 e 1995).

Esses resultados disponíveis na literatura confirmam nossos próprios achados iniciais de que não seria adequado descrever o processo de ensino como uma substituição das idéias prévias dos alunos por idéias científicas. Isso nos impôs a tarefa de buscar um modelo teórico alternativo para analisar a evolução conceitual em sala de aula. Esse modelo deveria admitir a possibilidade de se usar diferentes formas de pensar em diferentes domínios e, ainda, permitir que a construção de uma nova idéia pudesse, em algumas situações, ocorrer independentemente das

idéias prévias e não necessariamente como uma acomodação de estruturas conceituais já existentes. Essas necessidades nos levaram de volta a BACHELARD (1968) e sua noção de perfil epistemológico, com a qual já havíamos trabalhado anteriormente (MORTIMER, 1988). Isso nos ajudou a construir a noção de perfil conceitual, que passaremos a expor, e que acabou por se constituir no nosso principal instrumento de análise da evolução conceitual em sala de aula.

A NOÇÃO DE PERFIL CONCEITUAL COMO ALTERNATIVA PARA A CONSTRUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ENSINO E DE ANÁLISE DA EVOLUÇÃO CONCEITUAL

Não se constitui em novidade o fato de que as pessoas possam exibir diferentes formas de ver e representar a realidade à sua volta. Bachelard já havia usado essa idéia em 1940, relacionado ao que ele havia chamado de "noção de perfil epistemológico" (BACHELARD, 1968, 1984). O autor mostrou que uma única doutrina filosófica não é suficiente para descrever todas as diferentes formas de pensar quando se tenta expor e explicar um simples conceito. Segundo Bachelard, um único conceito isolado é suficiente para dispensar as filosofias e mostrar que elas são incompletas por estarem apoiadas num único aspecto, por iluminarem apenas uma das facetas do conceito. "Mas nós estamos agora de posse de uma escala graduada de discussão que nos permite localizar os diferentes pontos em questão na filosofia científica, e prevenir a confusão de argumentos." (BACHELARD, 1968. p.34) Essa "escala graduada" é a noção de perfil epistemológico; voltaremos a ela novamente.

Em primeiro lugar, é conveniente mostrar que Bachelard não está sozinho ao considerar que diferentes formas de ver o mundo podem ser encontradas numa mesma pessoa. Schutz, por exemplo, fala de um mundo social que não é homogêneo, “mas mostra um estrutura multiforme. Cada uma de suas esferas ou regiões é tanto uma maneira de perceber quanto uma forma de entender a experiência subjetiva dos outros.” (SCHUTZ, 1967. p.139) A diferentes realidades, pertencentes a contextos sociais específicos, correspondem diferentes formas de conhecimento. BERGER & LUCKMANN (1967) enfatizam que, entre essas múltiplas realidades, há uma que se apresenta como a realidade por excelência: aquela da vida cotidiana. “Comparadas à realidade da vida cotidiana, outras realidades são províncias finitas de significados.” (BERGER & LUCKMANN, 1967. p.39) Quando alguém desloca sua atenção dessa realidade cotidiana para uma dessas províncias, por exemplo, para o conhecimento científico, uma mudança radical tem lugar na tensão da consciência. Contudo, mesmo quando este tipo de mudança radical tem lugar, a realidade da vida cotidiana ainda marca sua presença. A linguagem disponível para objetivar esses diferentes tipos de experiência é baseada na linguagem da vida cotidiana, e mesmo que se possa usar linguagens mais sofisticadas pertencentes a esse universo simbólico – como a matemática – é necessário, vez por outra, “traduzir as experiências não-cotidianas na realidade da vida cotidiana” (BERGER & LUCKMANN, 1967. p.40). Também é necessário interpretar a coexistência desses diferentes tipos de realidade.

Outro argumento a favor da existência de “formas qualitativamente diferentes pelas quais as pessoas percebem e

entendem suas realidades" foi levantado por MARTON (1981, p.177), cuja abordagem fenomenográfica nos fala sobre concepções e formas de entendimento como categorias de descrição da realidade. Essas categorias podem ser observadas em um grande número de indivíduos, de modo que a sua totalidade denota um tipo de intelecto coletivo. "As mesmas categorias de descrição aparecem em diferentes situações. O conjunto das categorias é, portanto, estável e generalizável entre situações, mesmo que o indivíduo 'mova' de uma categoria a outra em diferentes ocasiões." (MARTON, 1981. p.193) As idéias de Marton repousam na distinção entre realidade e percepção da realidade, mas têm também um componente de dependência do conteúdo, já que "nós não podemos separar a estrutura do conteúdo da experiência" (MARTON, 1981. p.179). Marton sugere que nós podemos usar esse sistema supra-individual de formas de pensamento como um instrumento para a descrição de como as pessoas pensam em situações concretas e, numa perspectiva coletiva, como descrições de formas de pensar.

LINDER (1993), baseado nas idéias de Marton, argumenta que a dispersão conceitual é um fenômeno presente tanto na vida social como em ciência. O autor ilustra suas teses com exemplos de mecânica, ótica e eletricidade, onde a visão clássica e moderna de um mesmo fenômeno não é coincidente. Questiona os modelos de mudança conceitual que incluem o objetivo de fazer com que o estudante abandone uma concepção e adote uma alternativa, e conclui que a descrição da aprendizagem em ciências deve enfatizar "o esforço de se aumentar a capacidade dos estudantes em distinguir entre concepções apropriadas para cada contexto específico" (LINDER, 1993. p.298)

e não o esforço para mudar concepções já existentes entre os estudantes.

A idéia de um "intelecto coletivo" como um sistema supra-individual de formas de pensamento (MARTON, 1981) também desempenha um papel importante na teoria histórico-cultural ou sociocultural de Vygotsky e seguidores. Segundo Vygotsky, a relação do homem com o mundo não é uma relação direta. Os processos mentais superiores, como pensamento verbal, memória lógica e atenção seletiva, são gerados por atividades mediadas socialmente. A fonte de mediação pode ser uma ferramenta material, um sistema de símbolos ou o comportamento de outro ser humano (VYGOTSKY, 1978). Este autor comenta que a dificuldade de se ver essa dimensão social nos processos mentais está relacionada ao fato de que o desenvolvimento desses processos começa e termina numa forma individualizada. O começo biológico e o fim intrapsicológico do desenvolvimento de uma função mental lhe dão esta aparência de processo individual. No entanto, ela passa por um estágio em que se caracteriza como uma forma particular de colaboração social. Somente nos seus últimos estágios a função psicológica adquire essa forma individualizada, carregando internamente os aspectos simbólicos essenciais de sua estrutura prévia (VYGOTSKY, 1982, citado por KOZULIN, 1990. p.116-117).

Os sistemas simbólicos que desempenham um papel fundamental na gênese dos processos mentais superiores nada mais são do que uma forma de "intelecto coletivo". KOZULIN (1990) identifica que o contexto intelectual que dá origem ao pressuposto vygotkiano de que as funções mentais humanas

são sociais em sua origem e conteúdo está relacionado mais à escola sociológica francesa de Emile Durkheim do que à teoria marxista, visto que a primeira seria a única a oferecer, na época, uma teoria suficientemente desenvolvida da cognição humana como socialmente determinada. O conceito de "representação coletiva", de Durkheim, seria uma dessas rotas das idéias de Vygotsky.

Uma representação coletiva é um conceito ou uma categoria de pensamento que um grupo de indivíduos possui em uma forma essencialmente similar de modo a permitir uma comunicação efetiva. Além disso, as representações coletivas têm um caráter supra-individual e através dessa característica elas são impostas sobre a cognição individual. (KOZULIN, 1990. p.122)

É interessante notar que esse conceito de representação coletiva parece ter influenciado também a Marton, cuja idéia de "intelecto coletivo" tem sua origem na mesma escola sociológica.

Apesar de Bachelard não ter trabalhado no desenvolvimento de conceitos relacionados à cognição humana, encontramos em sua "Filosofia do Não" uma explicação detalhada de diferentes maneiras de se conceituar a realidade em termos científicos. Ainda que formuladas em termos de sistemas filosóficos de pensamento, essas idéias podem nos ajudar a desenvolver um modelo de ensino, baseado na explicitação das idéias dos estudantes, que tente resolver algumas das inconsistências levantadas em relação aos outros modelos e estratégias.

Segundo Bachelard, é possível que cada indivíduo trace seu perfil epistemológico para cada conceito científico. Apesar das características individuais do perfil, como o resultado de

uma psicanálise pessoal para um dado conceito, as categorias que constituem as diferentes divisões do perfil têm, como em Marton, uma característica mais geral. Cada zona do perfil é relacionada com uma perspectiva filosófica específica, baseada em compromissos epistemológicos distintos. Cada parte do perfil pode ser relacionada, portanto, com uma forma de pensar e com um certo domínio ou contexto a que essa forma se aplica.

Adaptando-se a proposta de BACHELARD (1984) às particularidades do conhecimento químico, os vários conceitos físicos e químicos podem ser relacionados com os seguintes componentes em termos de um perfil (MORTIMER, 1992): o realismo ingênuo, que é basicamente o pensamento de senso comum; o empirismo, que ultrapassa a realidade imediata através do uso de instrumentos de medida, mas que ainda não dá conta das relações racionais; o racionalismo clássico, em que os conceitos passam a fazer parte de uma rede de relações racionais; o racionalismo moderno, em que as noções simples da ciência clássica se tornam complexas e partes de uma rede mais ampla de conceitos; e também um racionalismo contemporâneo, ainda em desenvolvimento, que englobaria os avanços mais recentes da ciência através de estudos sobre a forma, fractais e sistemas não-lineares, que permitem a incorporação, como objeto de estudo, de sistemas complexos e/ou caóticos, como reações distantes do equilíbrio, sistemas irreversíveis etc.

Bachelard exemplifica a aplicação da noção de perfil ao conceito de massa. Assim, o realismo ingênuo está impregnado de senso comum, e uma noção realista atribui massa apenas àquilo que é pesado. A noção de massa corresponde, então "a uma apreciação quantitativa grosseira e como que ávida de

realidade. Aprecia-se a massa pela vista." (BACHELARD, 1984. p.13)

Em relação ao empirismo, que o autor adjetiva de claro e positivista,

a noção de massa corresponde a um emprego cautelosamente empírico, a uma determinação objetiva precisa. O conceito está então ligado à utilização da balança (...) A tal conceito simples e positivo, a uma determinação simples e positiva de um instrumento (mesmo que seja teoricamente complicado) corresponde um pensamento empírico, sólido, claro, positivo e imóvel. (BACHELARD, 1984. p.15)

Já para o racionalismo clássico,

a noção de massa define-se num corpo de noções e não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta. Com Newton a massa será definida como o quociente da força pela aceleração. Força, aceleração, massa, estabelecem-se correlativamente numa relação claramente racional, dado que esta relação é perfeitamente analisada pelas leis racionais da aritmética. (BACHELARD, 1984. p.16)

O racionalismo moderno faz com que as noções se tornem mais complexas. A noção de massa, que era uma função simples, vai se tornar complexa, dependente de uma série de outras noções:

Com efeito, a relatividade descobre que a massa, outrora definida como independente da velocidade, como absoluta no tempo e no espaço, como base de um sistema de unidades absolutas, é uma função complicada da velocidade. A massa de um objeto é pois relativa ao deslocamento desse objeto (...) Também é falha de significado a noção de massa

absoluta (...) Mais uma complicação nocional: na física relativista, a noção de massa já não é heterogênea à energia. Em suma, a noção simples dá lugar a uma noção complexa, sem declinar aliás o seu papel de elemento. A massa permanece uma noção de base e esta noção de base é complexa. Apenas em certos casos a noção complexa se pode simplificar. Simplifica-se na aplicação pelo abandono de determinadas sutilezas, pela eliminação de determinadas variações delicadas. Mas fora do problema da aplicação, e, conseqüentemente, ao nível das construções racionais *a priori*, o número de funções internas da noção multiplica-se. (BACHELARD, 1984. p.18)

Bachelard fala ainda de um racionalismo contemporâneo, em que a realização se impõe à realidade. Na mecânica de Dirac, é a forma de propagação que definirá, em seguida, aquilo que se propaga. "A mecânica de Dirac é, pois, de saída, *desrealizada*." (BACHELARD, 1984. p.20) É no fim do seu desenvolvimento que ela procurará suas realizações:

Deste modo, a *realização* leva a melhor sobre a realidade. Essa primazia da realização desclassifica a realidade. Um físico só conhece verdadeiramente uma realidade quando a realizou, quando deste modo é senhor do eterno recoreço das coisas e quando constitui nele um retorno eterno da razão. Aliás, o ideal da realização é exigente: a teoria que realiza parcialmente deve realizar *totalmente*. Ela não pode ter razão apenas de uma forma fragmentária. A teoria é a verdade matemática que ainda não encontrou a sua realização completa. O cientista deve procurar essa realização completa. É preciso forçar a natureza a ir tão longe quanto o nosso espírito. (BACHELARD, 1984. p.21)

É interessante notar que, à medida que se percorre esse perfil epistemológico, qualquer conceito vai se tomando mais complexo ao longo do perfil, e também mais racional. Além

disso, a parte "realista" do espectro de noções pode ser relacionada às concepções alternativas que as pessoas possuem, muitas vezes independente da formação escolar.

O perfil epistemológico, em cada conceito, difere de um indivíduo para outro. Ele é fortemente influenciado pelas diferentes experiências que cada pessoa tem, pelas suas raízes culturais diferentes. A Figura 1 reproduz o perfil epistemológico que Bachelard usa para ilustrar o seu próprio conceito de massa.

FIGURA 1 - O perfil epistemológico de Bachelard em relação ao conceito de massa
FONTE - BACHELARD, 1984. p.25.

A altura de cada zona do perfil corresponde à extensão na qual essa “maneira de ver” está presente no pensamento individual, o que é definido pelo *background* cultural e pelas oportunidades que o indivíduo tem de usar cada divisão do perfil na sua vida. Quanto maior é uma determinada zona do perfil, mais forte é essa característica do conceito no perfil como um todo. O próprio autor adverte para o cuidado que deve ser tomado ao se interpretar esse tipo de representação, já que a altura de cada setor é uma aproximação qualitativa grosseira.

O meu próprio perfil em relação ao conceito de massa seria diferente daquele apresentado por Bachelard (Figura 1), uma vez que sua zona mais acentuada seria a empirista, e não a racionalista clássica. Isto está relacionado à minha formação como químico e a uma experiência de vários anos trabalhando em laboratórios químicos, usando balanças como parte das atividades cotidianas. O perfil de Bachelard é completamente diferente (Figura 1). A zona empírica em seu perfil é menos influente, e ele terá um setor racional bastante pronunciado, como consequência de sua experiência como físico e filósofo profissional.

O leitor poderia argumentar, em face das características da noção de perfil epistemológico, que é difícil de acreditar que cientistas e filósofos, a exemplo de Bachelard, pudessem ter um componente realista no seu perfil do conceito de massa, atribuindo massa somente a coisas grandes e pesadas, apreciando a massa pela vista. Eu seria obrigado a concordar, desde que alguém me provasse que um químico ou um físico jamais tivesse usado massa num sentido metafórico na sua linguagem cotidiana, jamais tivesse falado de uma “massa de ar frio que se aproxima”

ou de uma "massa de detalhes a serem trabalhados no projeto" (vide o *Novo Dicionário Aurélio* [FERREIRA, 1975] e o *Collins Cobuild English Language Dictionary* [SINCLAIR, Ed., 1987] para exemplos desses tipos de conceitos de massa). Massa, neste sentido, é claramente realística, e seria de um absoluto *nonsense* falar acerca de uma pequena massa de detalhes a ser trabalhada. Uma importante característica que poderia distinguir o perfil do químico e do físico daquele de um estudante novato nas leis da física é que os primeiros poderiam ser mais conscientes de seu perfil e usar cada noção no contexto apropriado, enquanto o último poderia não ter atingido esse grau de consciência.

Usarei a noção de *perfil conceitual* no lugar de *perfil epistemológico* com o propósito de introduzir algumas características ao perfil que não estão presentes na visão filosófica de Bachelard, já que minha intenção é construir um modelo para descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como consequência do processo de ensino. A noção de perfil conceitual tem, obviamente, características em comum com a de perfil epistemológico, como, por exemplo, a hierarquia entre as diferentes zonas, pela qual cada zona sucessiva é caracterizada por conter categorias de análise com poder explanatório maior que as anteriores. No entanto, alguns elementos importantes devem ser adicionados à noção bachelardiana.

O primeiro deles é a distinção entre características ontológicas e epistemológicas de cada zona do perfil. Apesar de lidar com o mesmo conceito, cada zona do perfil poderá ser não só epistemológica como também ontologicamente diferente

das outras, já que essas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil. Como mostrarei em relação ao perfil do conceito de átomo, este, enquanto objeto quântico, não pertence à mesma categoria ontológica do átomo clássico, um tipo de bloco básico a partir do qual a matéria é construída. Essa distinção entre aspectos epistemológicos e ontológicos é importante uma vez que muitos dos problemas na aprendizagem de conceitos científicos têm sido relacionados com a dificuldade em se mudar as categorias ontológicas às quais os conceitos são designados.

Para que os estudantes entendam realmente o que é força, luz, calor e corrente, eles precisam mudar suas concepções de que essas entidades são substâncias, e passar a considerá-las como um tipo de evento (*constraint-based event*) (incluindo campos), o que requer, conseqüentemente, uma mudança em sua ontologia. (CHI, 1991. p.13)

Um outro aspecto importante a acrescentar é que a tomada de consciência, pelo estudante, de seu próprio perfil, desempenha um papel importante no processo de ensino-aprendizagem. Esse aspecto já seria suficiente para explicar certos resultados da literatura que questionam a interpretação usual de mudança conceitual como substituição das pré-concepções por conceitos científicos, como os de GALILI & BAR (1992), a que nos referimos anteriormente. O uso, pelo estudante, de concepções prévias em problemas cotidianos e/ou novos poderia indicar a falta de consciência de seu próprio perfil. O aluno teria adquirido o conceito newtoniano de movimento, mas não teria se conscientizado da relação entre este e o seu conceito anterior de que "movimento requer força", não sabendo,

portanto, em que contexto é mais apropriado empregar um ou outro. Numa situação nova ele usaria o conceito pré-newtoniano de que "movimento requer força", apesar de já ter usado o conceito newtoniano com sucesso em situações familiares, justamente porque ele não teria tomado consciência de que esses dois conceitos pertencem a um mesmo perfil, mas que os domínios a que se aplicam são diferentes. A falta dessa consciência o levaria a generalizar seu conceito anterior, que, por ser mais familiar, seria usado com mais segurança numa situação nova.

Outra característica importante da noção de perfil conceitual é que seus níveis "pré-científicos" não são determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos. Como essas características individuais estão fortemente influenciadas pela cultura, podemos tentar definir o perfil conceitual como um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciada pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que, para cada conceito em particular, tem-se um perfil diferente. Mas as categorias que caracterizam o perfil são, ao mesmo tempo, independentes de contexto, uma vez que, dentro de uma mesma cultura, têm-se as mesmas categorias pelas quais são determinadas as diferentes zonas do perfil. Em nossa civilização ocidental e industrial, as zonas científicas do

perfil são claramente definidas pela história das idéias científicas. As zonas pré-científicas também estão claras para muitos conceitos, como consequência da intensa pesquisa em concepções alternativas dos estudantes, realizada nas últimas décadas, e que identificou os mesmos tipos de concepções relacionadas a um determinado conceito científico em diferentes partes do mundo.

Vai além dos objetivos deste trabalho responder se essas similaridades são devidas às características transculturais das concepções alternativas, o que daria suporte à idéia de que as concepções dos estudantes seriam moldadas mais pelo meio físico que pelo cultural. Ou se elas são consequência da uniformidade cultural da nossa civilização industrial moderna, já que as diferenças culturais entre as diversas regiões e países têm se tornado cada vez menores, à medida que o mundo se transforma numa "aldeia global". Nada proíbe, no entanto, que se encontrem diferentes zonas pré-científicas no perfil de um mesmo conceito em diferentes culturas ou mesmo em diferentes classes sociais dentro de uma mesma cultura, o que seria apenas uma evidência da raiz cultural desse conceito em particular. No entanto, acreditamos ser possível encontrar, para muitos conceitos científicos, as mesmas divisões do perfil conceitual em todo o mundo ocidental. Conseqüentemente, é possível definir com clareza as categorias que caracterizam cada zona do perfil para muitos conceitos, e o faremos para os conceitos de átomo e de estados físicos da matéria.

Há várias consequências para o estabelecimento de estratégias de ensino e para a análise do processo de evolução conceitual em sala de aula que emergem da noção de perfil conceitual. Voltaremos a elas no momento oportuno. Por

enquanto, é importante sublinhar que uma fase fundamental no planejamento do ensino, de acordo com essa noção, é a determinação das categorias que constituem as diferentes zonas do perfil do conceito a ser ensinado, bem como a identificação dos obstáculos ontológicos e epistemológicos. Há uma fonte bastante ampla de informações, na literatura sobre conceitos alternativos, que pode ser usada para identificar as características do perfil no seus níveis mais elementares. A história da ciência é outra fonte importante, não só para esses níveis elementares, mas também para outros mais avançados. Antes de nos determos especificamente na determinação desse perfil, é necessário revermos os estudos disponíveis na literatura sobre atomismo e estados físicos da matéria, pois eles nos darão a base conceitual sobre a qual serão determinadas as categorias das zonas iniciais do perfil, bem como nos ajudarão a pensar estratégias de ensino adequadas ao modelo que acabamos de apresentar.