

4. Lugar da história das ciências nas pesquisas didáticas

O saber científico é portanto uma construção da mente, fundado pela confrontação com a realidade, elaborando-se por uma ruptura em relação às evidências anteriores. Assim sendo, é de se lastimar que no ensino, em todos os níveis, permaneça a recusa de admitir o caráter construído dos conceitos da Física, da Química ou da Biologia. Até nos textos oficiais recentes, continua aparecendo a idéia de que o “objeto é que detém a verdade” e que basta “ver melhor”. Ao reduzir os conceitos a “caixas-fortes”, conforme a expressão de Weissman em sua polêmica com Delage, o ensinante proíbe-se raciocinar sobre saberes bem delimitados sobre os quais o pensamento deve necessariamente apoiar-se, em proveito dos supostos fatos, separados, entretanto, das condições que lhes conferem um significado. Isso pode explicar como muitos são levados a fornecer uma soma de conhecimentos dogmáticos, incoerentes pois inorganizados, o que os torna ineficazes.

Isso pode ser verificado com mais clareza ainda quando se trabalha sobre conceitos introduzidos para questões operatórias, mas que não têm mais um suporte imediato, ou, ao menos, quando esse não é imediatamente acessível pelos sentidos, quer porque se detecta apenas seus efeitos secundários (como a aceleração, a energia, a gravitação...), quer porque existe apenas sob a forma de modelo matematizado (teoria dos quanta, relatividade generalizada...).

Isso não significa, entretanto, que o saber deva ser proposto aos aprendentes na ordem e nas condições correspondendo às diferentes descobertas científicas. Conforme dissemos ao introduzir este capítulo, a análise histórica não constitui, ao nosso ver, senão um simples desvio. No melhor dos casos, ela nos propõe direções de pesquisa ou hipóteses que concernem ao mesmo tempo aos mecanismos e ao contexto que permitem a apropriação dos conhecimentos¹⁴. Por exemplo, ao contrário de um concepção ingênua que procura de imediato fazer adquirir um saber científico “verdadeiro”, isto é, constituído apenas pelos enunciados considerados como rigorosos, pode-se extrair a idéia da existência, para cada conceito, de vários níveis de formulação, cada um deles com um valor relativo. Trata-se então de proposições que dão lugar, por aplicação ou inferência, a um número ilimitado de enunciados, cada um deles sendo utilizável num campo definido de validade; assim sendo, tem-se à disposição um poder de explicação e previsão sem relação com a simples receita prática que só funciona, aos trancos e barrancos, por analogia ou transdução.

Da mesma maneira, a história das ciências mostra que o trabalho de construção não se detém na formulação de enunciados cada vez mais gerais, apoiados sobre paradigmas¹⁵. Valoriza também o fato da importância de levar em consideração os dados que cada etapa da generalização tende a pôr de lado. Assim, uma mesma

situação pode dar lugar a várias leituras, de acordo com o tipo de problema que se quer tratar. Essa noção de rastreamento deve certamente ser considerada na didática das ciências; um mesmo conjunto de constatações pode aclarar um fenômeno de maneira diferente. Conforme a questão abordada, um determinado nível de estruturação deixa necessariamente de lado certos observáveis e uma nova leitura desses últimos pode permitir posteriormente passar esse patamar. A pesquisa em didática, aliás, tende cada vez mais a corroborar isso. Infelizmente, na prática diária, apóia-se, na maioria dos casos, num exemplo único, considerado como geral (Delage chega até a descrever um “exemplo ideal” que deve exercer o papel de paradigma ao “impor” uma única interpretação possível). A apresentação desse exemplo é seguida por uma formulação dada sob a forma mais global possível, por motivo de rigor; assim, já na 6ª série do 1º Grau, uma descrição da fecundação leva esta a ser definida como a fusão de duas células¹⁶.

Com esse tipo de prática, cada conceito corre o risco de ser colocado numa espécie de gaveta que o isola dos outros; sem referência à diversidade das situações concretas, torna-se então de difícil reinvestimento. Ademais, a acumulação precipitada de formulações conceptuais faz a ciência aparecer como um conjunto fluido, que não se apóia em nenhum raciocínio rigoroso, enquanto a construção progressiva dos conceitos, a delimitação de sua área e de sua articulação em rede, são uma escola de rigor que permite dominar o vai-e-vem entre a teoria e a experiência.

A história das ciências tende também a tornar-nos humildes quanto às nossas pretensões educativas ou culturais. São necessários às vezes vários séculos para elaborar um saber; mesmo que isso não queira dizer que outros tantos serão necessários na sala de aula, essa realidade ressalta talvez algumas “não-evidências”! Chama a atenção também sobre certos aspectos do realismo ingênuo sempre presente nos aprendentes. Faz aparecer a importância das aderências, no plano do vivido, entre o saber científico, as filosofias implícitas e as ideologias. Condena mais particularmente um saber dogmático e fechado, que pretende desembocar sobre uma verdade definitiva, em proveito de uma conquista dos conhecimentos por aproximações sucessivas, através das retificações e múltiplas rupturas que integram as aquisições anteriores e demarcam um progresso rumo à objetividade e universalidade. Explicita essas rupturas que levam aos sucessivos níveis de formulação e que são caracterizados por outra problemática. Assim, a generalização não se apóia mais sobre uma simples indução a partir do real, mas sim sobre a elaboração de um modelo teórico que “explica” o conjunto dos fatos observados e permite fazer previsões. Por fim, nos informa sobre os mecanismos de transmissão do saber, ainda que estes tenham-se desenrolado em condições privilegiadas, dentro da elite do corpo dos cientistas.

¹⁴ Por outro lado, a história das ciências não é probatória em caso algum. Não mais do que a psicologia, ela não pode corroborar hipóteses didáticas. No melhor dos casos, pode fornecer uma indicação.

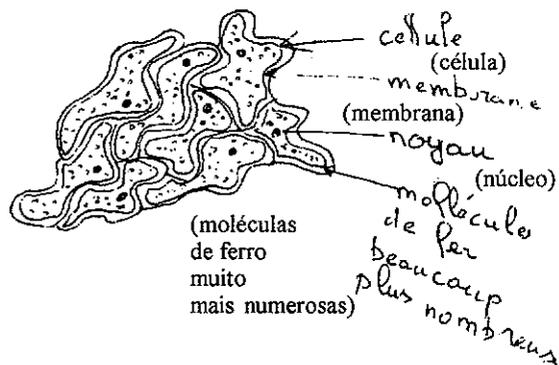
¹⁵ A palavra paradigma é considerada aqui no sentido original de exemplo significativo.

¹⁶ Uma pedagogia da construção do saber pode apoiar-se, no início, num exemplo significativo; mas este só deve representar uma plataforma favorável ao trabalho progressivo de elaboração. Permite explicitar a teoria que leva à formulação precisa do problema e às escolhas dos dados significativos, evita o amontoamento que paralisa qualquer concentração do pensamento, mas não afasta a idéia da existência de várias pistas possíveis.

A esse respeito, o caso de Mendel é interessante, exemplar até. Sempre é apresentado como um monge solitário trabalhando em seu canto; na verdade, ele estava amplamente integrado à comunidade científica de sua época; suas pesquisas eram até conhecidas, pois podem-se localizar 12 menções de seus trabalhos, antes da redescoberta deles ao redor de 1900. Ainda assim, ele não pôde fazer aceitar suas concepções; é verdade que elas não respondiam aos problemas da época (procurava-se então como se transmitiam os caracteres da espécie (e não do indivíduo) com o intuito de encontrar provas da teoria da evolução). Ademais, Mendel apoiava-se num sistema operatório que envolvia a técnica das probabilidades, as quais eram mal entendidas. Um elemento é particularmente representativo da dificuldade que as idéias de Mendel tiveram para impor-se. Ele manteve uma correspondência abundante e seguida, entre 1866 e 1873, com uma autoridade científica de seu tempo, o professor Nageli de Viena. Ora, não conseguiu convencer esse personagem. Pode-se supor, no entanto, que ele multiplicou os argumentos para esse fim. Assim, como diz o historiador C. Zirkle, "*Nageli continuará sendo aos olhos da posteridade o grande biólogo que não pôde entender o mendelismo, mesmo com o inestimável privilégio de ter-lhe sido explicado por Mendel em pessoa*"!

b) Como tu representas a mesma bola de ferro aquecida a 200 graus* (se tu pudesses examiná-la com um forte aumento). Explica em algumas palavras o que verias e faz um desenho com as indicações necessárias para ser compreendido.

* Nota que o ferro funde em torno de 1 500 graus.



Extrato de questionário sobre a estrutura do ferro.
Obs. Bain-Bertrand, LDES, Universidade de Genebra.

8

O QUESTIONAMENTO

Raros são os adultos, em nossa sociedade, que ainda têm curiosidade pelo que os rodeia. Na linguagem comum, aliás, "ter curiosidade" não significa sobretudo "preocupar-se com o que não é assunto meu"? Como está longe da atitude das crianças pequenas que têm sede de saber! Será possível que esse motor do saber se dissipe naturalmente "com a idade"? Qual será o impacto dessa atitude sobre a apropriação do saber?

1. A falta de um verdadeiro questionamento traduz uma parada na construção do pensamento

Na verdade, toda a nossa cultura impede que um certo número dentre nós se faça perguntas, pois estas são precedidas por respostas diretamente fornecidas. Os jornalistas, por exemplo, são curiosos por nós, interrogam-se por nós, debatem por nós... pensam por nós. Como, nesse caso, não tender logo para uma certa passividade?

No ensino, isso fica ainda mais claro; o professor é que faz perguntas, suas perguntas, deveríamos escrever. Ora, é difícil ser ativo ante um problema que não é nosso. Será que o questionamento proposto para os aprendentes leva em consideração suas motivações, seu nível de conceptualização e o contexto no qual se situam?

As pedagogias do diálogo, utilizadas, na maioria das vezes, são "pedagogias da adivinhação". O papel do professor consiste em fazer os alunos dizerem (ou, na maioria das vezes, para um aluno) o que o professor decidiu fazer emergir; é freqüentemente uma palavra que deve ser achada. Os aprendentes tentam adivinhar, pois essa é a regra do jogo; na verdade, não sabem o que estão procurando. Reagem muito mais em função do próprio professor do que em relação à pergunta feita, ou seja, tentam saber o que se quer fazê-los expressar e não respondem, de verdade, ao problema levantado. Ou seja, não acompanham necessariamente o fio condutor do processo do adulto, mas sim tentam "marcar pontos" independentemente uns dos outros. Vê-se, com freqüência, emergirem respostas sem relação nenhuma com o que o professor procura, pois seus objetivos não são conhecidos pelas crianças que

se contentam em tentar algumas aproximações. Chega-se a esse tipo de diálogo que Marcel Pagnol tão bem caricaturou:

Topaze: O Homem do qual estamos falando não tem amigos. Os que o conheceram outrora sabem que sua fortuna não é legítima. Foge-se dele como da peste. Então, o que ele faz?

Aluno Durant-Victor: Se muda de casa.

Topaze: Talvez. Mas o que é que aconteceria na sua nova casa?

Durant-Victor: As coisas se ajeitarão.

Topaze: Não, Senhor Durant-Victor, não pode ajeitar-se, pois, o que quer que ele faça, onde quer que vá, sempre lhe faltará a aprovação de sua cons... de sua cons...

Pitart-Vergniolles: De sua *concierge*¹. (governanta)*

Qual o interesse em dedicar ocasionalmente um minuto a um termo que o professor poderia fornecer após alguns momentos? Isso não mudaria nada ao processo, pois a adivinhação fica localizada na própria palavra ou, a rigor, numa imagem². É verdade que esse tipo de pedagogia permite que uma aula fique mais “animada”... ou, melhor dito, que certos alunos, sempre os mesmos, demonstrem uma atividade maior. O caminho recorrido, porém, é o do adulto que é o “mestre” (no sentido literal da palavra) da totalidade do processo.

É preciso acrescentar que, nessa pedagogia, baseada no diálogo, alguns dos estudos que realizamos mostram que dois terços do tempo são ocupados pela palavra do professor. O mais problemático, entretanto, reside no fato de que o professor só leva em consideração as respostas que lhe permitem avançar rumo à própria meta que se determinou. As “más” observações nunca são tomadas em conta. Vê-se claramente, pois, que se trata então de uma pedagogia tão dogmática quanto a utilizada num ensino expositivo.

Isso nos leva a refletir, por alguns instantes, sobre o estatuto das perguntas feitas pelos professores. Na verdade, poder-se-ia considerar que existem quatro tipos delas:

¹ M. PAGNOL, *Topaze*.

* N. do R. T.: Topaze esperava que o aluno completasse “cons” com “ciência”(conscience), e o aluno completa com “cierge” (conscierge).

² De outra maneira, certas observações infantis são às vezes claramente influenciadas pela própria formulação da pergunta, o que predetermina fortemente a resposta. Sabe-se que em Matemática, por exemplo, problemas simples são resolvidos pelos alunos pequenos, não graças à compreensão do que foi pedido, mas simplesmente em relação à maneira com a qual a pergunta fora feita, como se o mecanismo funcionasse à maneira de um reflexo condicionado.

perguntas que contêm a resposta:

a maneira de formular a pergunta implica uma resposta única
ex. “Ah! tu tens mesmo certeza de que...? Resposta: não”

perguntas fechadas

sobre um assunto pontual; só uma resposta é possível
ex. “Como se chama...?”

perguntas abertas

sobre um assunto mais geral; várias respostas são possíveis
ex. “Como explicas isso?”

perguntas incitativas

incentivam a pesquisa, o aprofundamento de um argumento, a ação
ex. “Como poderíamos fazer para responder essa pergunta?”

Adotar uma atitude que quer levar em consideração o aprendente implica, para o formador, um mínimo de reflexão sobre o sentido de suas próprias perguntas. Além de “fazer adivinhar”, um questionamento pode permitir a criação de situações pedagógicas que permitem a emergência das concepções, a tomada de consciência da existência de contradições, a possibilidade de confronto das diferentes opiniões, o incentivo à pesquisa e à ação. Isso não pertence unicamente ao campo escolar. As perguntas abertas e incitativas são portanto as que parecem merecer ter a preferência.

Ou seja, nunca nos cansaremos de insistir sobre o lugar do questionamento. Tem ele, ao que parece, um papel preponderante em vários níveis. Em primeiro lugar, traduz uma motivação, é um motor do saber. Se “não se dá de beber a um asno que não está com sede”, observa-se a mesma situação nos processos de elaboração dos conhecimentos. Somente assim é que o aprendente tenta procurar uma informação que corresponde a uma real necessidade de explicação. Por outro lado, as perguntas feitas permitem caracterizar o nível de pensamento e as preocupações do aprendente; medem também sua defasagem em relação ao saber que se pretende ensinar-lhe. A falta de questionamento sobre um ponto impede-o de avançar e até, na maioria dos casos, de entender o adulto: a criança outorga um estatuto de verdade ao que “crê” e isso pode chegar até a deformar os fatos. Vale acrescentar, por fim, que em todos os estudos que temos realizado em história das ciências sobre o construção dos conceitos, temos constatado que o saber havia-se sempre constituído a partir de uma pergunta, ou de várias perguntas formuladas de maneira sucessiva. A cada vez, uma mudança de questionamento tem precedido a evolução do nível de formulação de uma idéia. É verdade que, nem sempre, esse questionamento é explícito, ao menos no começo, mas vê-se freqüentemente formulado quando se chega a uma certo nível na solução. A falta de questionamento em ciências faz com que o aprendente contente-se com o que sabe; ora, pode tratar-se, como dissemos antes, de simples palavras que dão a ilusão de saber. Na verdade, na ausência de um verdadeiro questionamento, presencia-se uma interrupção na construção do pensamento.

2. Será mesmo possível partir do questionamento dos aprendentes?

Alguns formadores colocam seus alunos ante o problema a resolver... porém trata-se, na verdade, do problema induzido pelo professor. Não há dúvida de que isso já representa um progresso nada desprezível. Nesse caso, ora os aprendentes abordam o problema diretamente largado pelo professor, ora este se vira para fazer com que os alunos o formulem artificialmente, não raramente deixando-os acreditarem que ele decorre realmente de seu próprio questionamento. Mas será que os alunos são realmente logrados?

Isso nos leva a pensar que seria interessante que os aprendentes abordassem os problemas que eles mesmos levantaram e formularam. Na prática, isso se revela muito mais motivador para eles e não cria nenhuma defasagem já no início. Ainda assim, não pode ser, na sala de aula, alguma pergunta de um aluno imposta aos outros. Trata-se no caso de fazer com que essa preocupação seja partilhada pela totalidade dos aprendentes. Para isso, é possível perguntar-lhes o que pensam a esse respeito e quais as hipóteses de respostas que possam considerar, sendo o objeto disso fazê-los investir-se no assunto, ou seja, criar uma vivência comum em torno da questão que deixa de ser apenas a do solicitante inicial e pertence agora a todo o grupo. Da mesma maneira, parece essencial chegar a um problema cuja precisa formulação é a culminação de um trabalho comum.

Retorque-se porém que, às vezes (e até com muita freqüência nas crianças pequenas), as perguntas feitas parecem desprovidas de qualquer interesse científico. O que fazer, então? Com efeito, elas são, às vezes, muito "artificiais"; por exemplo, quando o professor diz "interroguem-se". Essa atividade torna-se então um exercício trivial e este corresponde provavelmente ao meio mais seguro para inibir qualquer curiosidade nos formandos. Parece natural entretanto pensar que não se interroga "em si", mas sim porque se sente a necessidade. No caso contrário, não são "verdadeiras" perguntas; são tão artificiais como as que o professor faz diretamente e apresentam a desvantagem adicional de raramente ter um interesse pedagógico.

Por fim, o verdadeiro questionamento do aprendente aparenta, ocasionalmente, não ter nenhum grande alcance educativo (por exemplo: "por que esse pedaço de madeira está torcido?"). A prática mostra a possibilidade de não se deter apenas nesse primeira grau de análise. Não será possível, com efeito, partir dessa pergunta e, fazendo-a evoluir, chegar à formulação de um verdadeiro problema científico?

Quando um grupo de crianças traz um pedaço de madeira "torcida", com a forma grosseria de um "saca-rolhas", e cada uma se faz perguntas sobre essa morfologia um tanto surpreendente, o professor pode, por exemplo, incentivá-las a procurar, em seu entorno, qual a espécie vegetal a que pertence. Ao descobrir que, a alguns passos dali, um ramo de madressilva enroscou-se ao redor do galho de uma árvore, pode-se fazer a pergunta sobre o motivo. Se as crianças tomarem consciência de que essa planta, no sub-bosque, rasteja no chão e não tem um tronco que lhe permita erguer-se, levantar-se-á o problema da necessidade de luz. Se compararem isso com certos outros fatos, tais como a altura alcançada pelas árvores quando apertadas umas contra as outras (e o professor deve desempenhar esse papel de

incentivador ao fornecer, se necessário, elementos para que esse tipo de aproximação possa operar-se), serão levadas a abordar as noções de adaptação e de relações dos seres vivos com seu ambiente. Encontrarão um começo de comprovação, se notarem a pobreza da flora de um sub-bosque muito escuro (o de pináceas, por exemplo)... Ou seja, um dos papéis do formador poderia ser o de "decodificar" os conceitos abordáveis, através das perguntas geradas pela curiosidade dos aprendentes.

Não raramente vê-se professores afirmar que seus alunos não fazem perguntas. Se tomarmos o exemplo de um passeio na floresta, é verdade que, ao pedir que "se recolha tudo quanto for encontrado", isso não será obrigatoriamente rico (esse tipo de atividade é proposto desde o jardim!). Mas, se as instruções forem a de procurar o que possa intrigar, surpreender, levantar problemas, percebe-se que, na maioria dos casos, a colheita de perguntas é totalmente diferente.

A título de exemplo, relatamos aqui o resultado do questionamento de duas aulas (crianças com 8-10 anos)³. Percebe-se que poder-se-ia praticamente cobrir a maioria dos grandes campos conceptuais que, na Biologia, são parte do programa na escola elementar. Em nossa mente, isso não significa que se deva tratar tudo a partir de uma única situação inicial, mas sim que é possível abordar, caso se queira, problemas de grande variedade. Estes poderão ser escolhidos pelo formador, em relação com os conceitos que lhe parecem ser os mais importantes, em ligação com seus objetivos, globalmente definidos previamente e levando-se em consideração o que poderia ter sido abordado nos temas de estudo anteriores. É interessante observar, aliás, que, quando uma noção já foi tratada, pode-se, sem deter-se nela, referir-se a ela através das perguntas relacionadas com ela; isso permite avaliar os possíveis reinvestimentos e ampliar os conhecimentos básicos que permitem estruturar o saber com o fim de construir progressivamente os grandes conceitos. Desenvolveremos esse aspecto mais adiante.

Feita essa escolha pedagógica, entretanto, pode-se perguntar qual será o dever das outras questões, aquelas que não entram diretamente no campo de nossas preocupações. O fato de "esquecer" algumas parecerá dificilmente compreensível para uma criança que não mede seu interesse relativo e para quem a pergunta é igual à outra... sobretudo tratando-se da sua. Podem-se inicialmente agrupar algumas perguntas que parecem referir-se ao mesmo problema; assim, este poderá ser considerado num plano mais geral. Quanto aos outros, sempre haverá a possibilidade de abordá-los com maior rapidez, tentando-se responder a eles de maneira sumária e sem outorgar-lhes o estatuto de pergunta que mereça uma verdadeira pesquisa. Voltar-se-á para algumas, por ocasião de estudos ulteriores.

Em todo o caso, parece muito importante escolher judiciosamente as perguntas sobre as quais se insistirá e que serão a base da elaboração de um problema. Ilustremos isso retomando o exemplo anterior e vejamos quais as observações que foram extraídas durante uma discussão na aula:

³ Pesquisa G. DE VECCHI, Escola Camus, Le Méc, 1983.

- “Por que este pedaço de madeira está mole?”
 “Por que aquele é mais leve?”
 “Por que esta madeira se desmancha quando a gente a torce?”
 “Por que a madeira tem um buraco no meio?”
 “Por que está de cor verde?”
 “O que é o branco que está em cima (micélio)?”

PERGUNTAS DE ALUNOS	
- Por que há cores (azul, verde, branco) nas árvores mortas? (mofos, bactérias) _____	1
- Por que o pedaço de madeira se parece com uma corda? _____	2
- Por que este galho gira? (em forma de saca-rolhas) _____	2
- Por que a folha tem pequenos botões? (galhas em folha de carvalho) _____	3
- Por que tem um buraco no meio da madeira? (galho morto) _____	4
- Por que havia árvores sozinhas e outras juntas? _____	3 - 4
- Por que há musgo nas pedras? _____	2 - 5 - 6
- Por que o pedaço de madeira se espalha e se parece com musgo? (madeira morta em decomposição) _____	1
- Por que os pinheiros não vivem em grupo? (naquele local) _____	6 - 3
- A gente viu grandes buracos: são de coelho ou lebre? _____	2
- Por que de um lado da floresta havia silvados (lado com luz) e do outro, não (sub-bosque de coníferas)? _____	3 - 6
- O que é a pequena cabana redonda debaixo da casca? (casulo) _____	2
- Por que, quando uma árvore foi cortada, há pequenos brotos ao redor? _____	4
- Por que as folhas mudam de cor no outono? _____	2 - 6
- Por que as folhas caem? _____	2
- Por que as grandes árvores são arredondadas e maiores no chão? (início das raízes) _____	2
- Existem árvores sem folhas no verão? _____	2
- Por que certas sementes têm dois envelopes? _____	2
- Por que há tantas árvores em certos locais? _____	2 - 6
- Como crescem os brotos? _____	4
- Por que certas árvores crescem em círculo? _____	3
- De onde vem o musgo? _____	4
- Por que espinhos crescem em certas folhas? _____	2
- Por que, quando furamos, sai a resina? _____	4
- Do que a semente é formada? _____	4
- Por que certas árvores crescem retas e outras, inclinadas? _____	2
- ...	

GENERALIZAÇÃO: POSSÍVEIS COMEÇOS	
1 - decomposição dos vegetais - ciclo da matéria	
2 - ligação órgão-função e necessidade de resolver os mesmos problemas de vida, cada um com suas possibilidades	
3 - interação dos seres vivos (concorrência, parasitismo, comensalismo...)	
4 - noção de vivo	
5 - papel do homem (exploração florestal)	
6 - importância de certos fatores do meio (calor, temperatura, luz...)	

ALGUNS GRANDES CONCEITOS DE BIOLOGIA NA ESCOLA ELEMENTAR	
(A) <u>Unidade do vivo</u>	- mesmos problemas a resolver, mesmas funções
	- ciclo de vida
(B) <u>Diversidade do vivo</u>	- comportamentos
	- adaptação
(C) <u>Ambiente</u>	- diferentes fatores do meio biológico (relações entre seres vivos)
	- organização e equilíbrio de um meio
	- ação do homem

Todas essas questões giram em torno da decomposição da madeira morta; poder-se-á, pois, caminhar, através delas, rumo à noção de decomposição da matéria viva, ainda que pareça irrealista, na escola elementar, abordá-la sob seu aspecto químico. Esse exemplo nos permite também tomar consciência de que um problema científico não existe de antemão, mesmo a partir de várias perguntas; constrói-se progressivamente. Sua formulação também poderá evoluir progressivamente e os aprendentes é que haverão de elaborá-la (no exemplo acima: “Aonde vão – e o que acontece com eles – os vegetais mortos?” ou “Como pode sempre haver alimentos no solo para as árvores da floresta se a gente nunca coloca adubo?”).

3. Como transformar a surpresa em questionamento?

Ao decidir-se abordar um assunto, é necessário, na maioria das vezes, colocar uma situação de partida cuja finalidade seja a criação de motivação e a emergência de um real questionamento por parte dos aprendentes. Não basta para isso, porém, passear fora da escola, visitar tal instalação ou museu. Dissemos que o confronto de certas concepções permite despertar a curiosidade. Uma problemática pode nascer também de paradoxos, isto é, situações que vão de encontro ao “bom senso” dos alunos. Pode-se também aproveitar uma pane ocorrida no funcionamento de um aparelho, um fato experimental em desacordo com uma representação prévia ou um problema que surge numa criação (por exemplo: “a água do aquário desapareceu, será que o peixe a bebeu?”; o questionamento pode até ser enriquecido: “vamos pesar o peixe”... “o peixe urinou”... “mas então por que o nível baixou?”... existem outras explicações? etc.). Poderão ser abordadas assim noções de conservação da matéria, de evaporação ou fisiologia.

É possível, por fim, após ter escolhido uma representação prévia que se sabe ser freqüente, tomar como ponto de partida de um tema de estudo uma questão muito aberta relacionada com essa concepção e levar um grupo de aprendentes a discutir.

Fizemos professores em formação viverem várias situações desse tipo, por exemplo a propósito da respiração em meio aquático⁴. Um verdadeiro questionamento emerge facilmente ante observações do tipo: “um peixe não respira, pois ele tem brânquias e vive na água”, “o oxigênio é dissolvido em pequenas bolhas como as do *bulleur*”, “a água contém muito oxigênio, pois sua fórmula é H₂O” ou “na água, o ferro enferruja, isso vem da oxidação, a oxidação é uma combustão e, entretanto, combustão e água são antinômicos”.

No que tange ao trabalho das crianças, pode ser utilizado o mesmo método. Pode-se, por exemplo, perguntar-lhes: “a lâ aquece?” ou “o que vocês acham desta afirmação de uma aluna: sob o pessegueiro que eu tenho em meu jardim, há caroços que caem; talvez sejam eles que germinam e dão as ervas daninhas?” ou, mais sim-

⁴ Dois grupos de professores seguindo um estágio de formação contínua, Pesquisa G. DE VECCHI, 1981 e 1982.

plesmente, “e se o tomate fosse uma fruta?”, sabendo-se que habitualmente só estão classificados nessa categoria os elementos vendidos como tais no mercado (ou seja, que não correspondem a “legumes”) e que têm um sabor doce. É verdade que a última pergunta é ambígua. Mas esse traço duvidoso é que faz da situação um desencadeante; isso vai incitar à comprovação e permitir abordar o conceito de fruta, bem como os de reprodução, ciclo de vida, espécie, adaptação, tempo...

Propor esse tipo de situação vivida reforça a motivação e incita à elaboração de um verdadeiro problema científico. Além do mais, permite freqüentemente acelerar o processo de aprendizado e satisfazer assim a maioria dos professores apavorados pelo medo de “perder tempo”.

Essas situações podem ser trazidas pelo formador com uma maior ou menor artificialidade, assim como o propomos acima; é muito mais interessante, porém, vê-las nascerem dentro da própria aula, o que não deixa de ocorrer quando o professor sabe estar à escuta das concepções de seus alunos, e se deixar a estes uma autonomia suficiente para que surjam suas preocupações.

O que parece importante, pois, é passar da surpresa a uma curiosidade “ativa” e saber transformar as perguntas em função do processo, dos quadros de referência e do nível semântico dos aprendentes. Assim, para crianças com 12 anos de idade, é difícil iniciar um trabalho a partir da pergunta: “por que será que os líquidos não deixam passar a luz da mesma maneira?”, devido ao problema da interação matéria-luz que não pode ser tratada nessa idade⁵. Através de uma breve discussão, no entanto, a pergunta pode ser transformada, substituindo-se o “por que” por “do que depende”; essa nova fórmula vai torná-la abordável, isto é, permitirá alcançar uma formulação de um nível levemente superior; com efeito, um trabalho de grupo pode ser realizado efetuando-se uma pesquisa sobre a cor, a “força” da luz, a “espessura” do líquido, sua concentração, etc.

Não poderíamos encerrar este capítulo sem insistir sobre o lugar fundamental do questionamento na construção do saber. Essa atividade cria uma filtragem da realidade; através dela é que o aprendente extrai as informações que apreende. É também uma fonte de progresso no aprendizado, pois suscita desequilíbrios que incitam o aluno a superar seu estágio atual para procurar novas soluções.

A esse respeito, lembremos que o saber presente pode “bloquear”. Historicamente, já constatamos que muitos pesquisadores, até entre os maiores, permaneceram presos a suas idéias, pois as satisfaziam plenamente. É verdade que certos conhecimentos parecem às vezes ter uma clareza tal que nos impedem levantar qualquer pergunta nova. Assim, ao problema “por que será que os filhos se parecem com os pais?”, nos basta a existência dos cromossomos. Ocorre o mesmo para outros temas; “qual é a estrutura da matéria?” traz automaticamente a palavra “átomo”, “o que é a energia?” remete à fórmula $E = mc^2$, etc. Essas respostas impedem assim

⁵ Ainda não encontramos um modelo compreensível sobre a matéria e a luz para crianças desse nível.

qualquer prolongamento do pensamento, o qual se esteriliza. E isso, desde muito cedo, nas crianças que, sabendo por exemplo que o nenê se desenvolve no ventre de sua mãe, ficam satisfeitos com esse nível de formulação⁶. Revela-se essencial, portanto, criar situações científicas “perturbadoras” caso se deseje ir mais adiante na construção do saber.

⁶ A esse respeito, para crianças com 5 anos de idade, o questionamento pode passar pelas seguintes perguntas: Como o nenê entrou no ventre? O que o pai deu para isso? E a mãe? Como é feita a semente para tornar-se um nenê? Como é fabricada? Como que o nenê se parece? O que faz com que se pareça com ambos os pais? Como o nenê vive no ventre? Ele dorme? Ele come, como? Ele tem pele? Dentes, pêlos?...

O LUGAR DAS CONFRONTAÇÕES

A motivação não pode, sozinha, bastar para explicar a construção de novos conhecimentos; é preciso também apoiar-se em outros parâmetros. Um dos motores favoráveis à conceptualização parece-nos ser representado pela confrontação, a qual pode colocar o aprendente em conflito com suas próprias concepções, o que o leva a procurar outros elementos mais pertinentes. Mas, como mostraremos, essa atividade não se limita em criar um desequilíbrio intelectual, também pode corresponder a uma visão recuada, a uma reestruturação com um novo arranjo do saber inicial.

Além do mais, essa confrontação obriga-nos a perguntar-nos qual pode ser nossa atitude ante as “falsas” concepções. Temos plena consciência do que esse qualificativo possa ter de provocador. Trata-se aqui de nos interessarmos por certos constructos tidos por errados em relação à ciência atual e rejeitados por terem sido substituídos por formulações que levam em consideração um número de fatos muito mais importante.

É impossível falar-se em confrontações de maneira geral; distinguem-se, na verdade, três tipos delas. O primeiro resulta da contradição eventualmente existente entre as concepções dos diferentes aprendentes. O segundo está ligado ao conflito possível entre as idéias (ou hipóteses) dos indivíduos e a realidade que vivem. Por fim, as concepções podem entrar em conflito com certos modelos da ciência¹ utilizados pelos divulgadores de todo gênero. Consideraremos inicialmente os dois primeiros tipos, sendo que o terceiro, pouco estudado ainda, ficará para outro capítulo. Antes disso, porém, insistiremos sobre o fato de que, embora os dois primeiros modos de confrontação sejam diferentes na sua abordagem didática por parte dos aprendentes, eles funcionam da mesma maneira. Devido ao conflito resultante, as confrontações geram uma frustração intelectual que leva a reagir quem aprende; obrigam-no a explicitar suas palavras, a tentar justificá-las, eventualmente a infirmá-las, e assim a retificá-las progressivamente. Tratar-los-emos paralelamente, detendo-nos ainda assim sobre alguns pontos que lhes são próprios e ilustra-los-emos, como temos feito até agora neste livro, com alguns exemplos significativos.

¹ O termo “modelo” é tomado aqui no sentido de modelo científico.

1. A confrontação nas atividades funcionais

Para começar, tomemos um trabalho relativo à calorimetria realizado junto a crianças com 9-10 anos de idade². Numa primeira fase, os alunos manipulam livremente termômetros; a seguir, reúnem-se para relatar suas observações e fazem-se perguntas uns aos outros. A fase seguinte consiste em fazer nascer um problema (trata-se também de um momento importante que não desenvolveremos aqui³). O problema que emerge é formulado da seguinte maneira: “Por que será que a fita do termômetro sobe e desce?” Começa então um período de investigação; propõe-se para as crianças que procurem resolver esse problema. Para isso, recebem a instrução de imaginar e realizar atividades antes de apresentar suas idéias e as perguntas que se fazem para toda a aula. “Sobe quando a gente o aperta”, “sobe quando a gente o coloca sobre o coração” ou “quando a gente o segura pela ponta na mão”, “quando a gente sacode, ele sobe”, “o meu desceu”, “o meu não fez nada”, “sobe com a lã”, “no algodão”, “desce sobre o mármore”, “o ferro”. “O que se deve fazer para saber se ele deve subir ou descer?” “Ele sobe porque o calor sobe.” Parece também que a “haste deva ser vertical” (“a água vermelha terá menos dificuldade para subir”). “Se a gente o colocar na água, dará 0°... “não, se eu agitar”, etc.

Essas são algumas das observações coletadas. Essa primeira etapa na conceptualização, que poderia ser chamada de “fase de atividade funcional e de expressão”, tem como meta a de multiplicar as experiências dos aprendentes na matéria. Provoca também uma série de contradições; as confrontações, resultando das diversas concepções infantis, fazem surgir a necessidade de recomeçar certas observações e de observar melhor seus resultados, de maneira a tomar consciência das ações que foram eficazes para fazer “subir” e “descer” o termômetro; trata-se também de encontrar, se possível, as causas dessa eficácia. As experiências feitas “para ver”, ou até “para brincar”, sucedem-se às que são realizadas “para saber”⁴.

Aos primeiros dizeres muito “espontâneos” dos aprendentes, sucedem-se concepções mais elaboradas, mais argumentadas. Nesse caso também, a confrontação das idéias entre os alunos obriga-os a justificar o que afirmam, e, eventualmente, num segundo tempo, a imaginar observações ou experiências para confirmar ou infirmar tanto suas palavras quanto as dos colegas⁵. Nesse contexto, a ação do professor, embora secundária, pois ela tem como apoio o processo do aluno, é pri-

² Segundo PAULIN, Pesquisa INRP-CNRS, 1978, escolares com 9 anos de idade; e obs. NOEL, BUHLER, MULLER, GIORDAN, 1981-82, LDES, escolares com 10 anos de idade.

³ Veja o capítulo relativo ao questionamento.

⁴ Essa fase é demorada e os professores têm freqüentemente a sensação de “estar perdendo tempo”. Não obstante, ela é indispensável; por um lado, permite apoiar o estudo ulterior sobre um verdadeiro questionamento; por outro lado, desenvolve a “experiência do aluno” ao criar uma base de dados e idéias sobre a qual será possível trabalhar.

⁵ Os alunos imaginam com maior facilidade experiências para refutar as idéias dos outros.

mordial⁶; o professor encoraja a discussão (e a ouve!), faz explicitar o que cada aluno diz e enfatiza as divergências que possam surgir. Outros tantos elementos tomados em consideração nas aulas normais, dentro das quais, na maioria das vezes, os alunos não se escutam, não vêem suas concepções serem opostas a outras e, com isso, permanecem centrados em suas idéias. As intervenções do professor podem até ir mais longe, ao participar diretamente nessas confrontações, ao proporcionar opiniões contrárias ao que foi dito, ou, ainda, ao propor situações que contradizem os esquemas de pensamento apresentados. Assim, embora 80% dos alunos acreditem que a temperatura sobe quando se aquece água, apenas 40% acreditam que ela aumenta quando se aquece areia⁷, pois não se observa nenhuma mudança visível, por não haver formação de vapor. Semelhante situação pode ser proposta também, para os alunos, com a finalidade de fazê-los reagir. Da mesma maneira, pode-se incitar as crianças a medir a temperatura de objetos variados (poliestireno, lã, ferro, madeira, mármore...) colocados numa mesma sala, pois os alunos acham que, devido às sensações diferentes que produzem ao serem tocados, estão mais ou menos quentes, etc.

Assim, a comparação entre as ações de eficácia variável, entre as diversas idéias, entre suas concepções e certas observações permite ao aprendente tomar um certo recuo em relação às suas representações iniciais; assim sendo, estas são progressivamente retificadas. Por exemplo, o papel do reservatório do líquido do termômetro, ao mesmo tempo que sua existência, aliás, pode ser deduzido: “o termômetro sobe ao ser agitado”... “sim, mas somente quando a gente o segura por esta ponta” (a criança mostra o reservatório)... “ele sobe mesmo sem agitá-lo, agitar não serve para nada”. Da mesma maneira, o papel do “calor” pode ser posto em evidência. Apertar sobre o reservatório com uma régua não serve para nada... “deve ser com a mão”... “é por causa do calor”. “Sobe sozinho quando a gente o tira da água fria... é o ar da sala que o aquece.” “O coração não influi em nada, o termômetro sobe também quando se coloca o reservatório em outro local da pele... é a pele que o aquece.”

No que tange à definição do líquido interno, trata-se ainda apenas de aquisições parcelares: “não pode ser um líquido, um líquido não aumenta quando se o aquece”, “não, só o leite aumenta”. “Se fosse um líquido, correria ao ser virado e, no meu termômetro, não corre”. “Talvez seja um líquido especial”, “subir é uma propriedade deste líquido”, “ou então talvez seja uma espécie de arame de ferro (no termômetro de mercúrio)”.

Tomar essas observações em consideração pode levar a novas atividades experimentais, de maneira a tentar confirmá-las ou questioná-las. Outros problemas po-

⁶ As observações dos alunos informam o professor sobre a presença de certas concepções e sobre os laços que se estabelecem, por exemplo, entre temperatura e calor, entre temperatura de um objeto e ambiente, entre o aquecimento de uma substância e seu aumento de temperatura... As proposições do professor apoiar-se-ão, é óbvio, sobre essas representações subjacentes.

⁷ TIBERGHEN e col. propõem números relativamente iguais, 73 e 47% respectivamente.

dem surgir então; as idéias iniciais transformam-se e, ocasionalmente, pode até produzir-se um começo de sínteses das aquisições pontuais. Assim, uma pergunta do tipo: “será uma propriedade de um líquido subir quando aquecido?” pode tornar-se, após discussão, “por que o volume do líquido aumenta quando ele é aquecido?” Isso não representa ainda a culminação do trabalho, pois “talvez a água passe através do vidro (o termômetro foi aquecido em banho-maria)”, “talvez haja um pouco mais de líquido” ou “talvez tenha entrado em outro lugar”.

Essas perguntas incitam a passar para outra etapa de pesagem. Mas, via de regra, a conservação da massa não é considerada pelas crianças como sendo um progresso em sua abordagem do conhecimento; seria antes uma “provocação” e um obstáculo contra a compreensão (portanto, contra a integração e conceptualização): “a gente não entende mais nada agora, é pior desde que estamos pesando”; “por um lado, tem mais e, do outro, tem a mesma quantidade (e às vezes até menos por causa de uma leve evaporação)”. Assim, o emprego correto das palavras massa e volume, embora permita uma maior clareza, não traz nenhum alívio para os aprendentes.

Esses momentos de confrontação, seguidos de fases de reflexão e acompanhados, ou não, de uma volta à manipulação, permitem sair da etapa de exploração ao alcançar um começo de relacionamentos. Assim, eles permitem reunir as aquisições parcelares (relativas no caso à existência e ao papel do reservatório, do calor, etc.) que vão poder ser organizadas num nível mais geral, graças à cooperação no trabalho feito pela totalidade da aula. Isso gera formulações sobre as quais todo o mundo está de acordo (relação entre a subida do líquido e uma ação localizada no reservatório, por exemplo). A título indicativo, citemos algumas idéias que foram reunidas durante essa fase e que concernem ao papel do calor. O termômetro sobe “quando se mergulha o reservatório na água quente”, “quando se sopra sobre ele”, “quando a gente o aquece com a mão”, “quando a gente o esfrega”... Desce “quando a gente coloca o reservatório na água fria”, “sobre uma pedra de gelo”, ou “quando a gente o deixa esfriar depois de aquecê-lo”...

Começos de síntese, oriundos das múltiplas confrontações, permitem passar de uma receita (por exemplo: é preciso segurar o reservatório na mão) para uma relação mais geral (o calor age sobre o reservatório do termômetro). Em particular, elas marcam uma primeira etapa rumo à conceptualização; pouco a pouco, o conceito em formação vai destacar-se da situação de partida, o que lhe garante um certo nível de invariância. Assim a criança que acredita inicialmente que é preciso, para ter sucesso, utilizar o mesmo termômetro ou, no caso de dilatação, o mesmo líquido, o mesmo recipiente, o mesmo modo de aquecimento...⁸, irá libertar-se, progressivamente, dessas condições particulares.

Nesse estágio, mal pode-se falar em conceito, trata-se simplesmente de um primeiro nível de formulação, pois as relações descobertas ainda têm uma eficácia limitada e não se destacam da situação inicial senão progressivamente. O aprendente

⁸ O aprendente não sabe o que é determinante para a experiência.

toma pouco a pouco consciência das invariantes, isto é, o conceito constrói-se lentamente.

Parando nesse estágio, porém, o aluno permanece limitado por seu quadro de referência (no caso, as questões de conservação e estrutura da matéria). É preciso, pois, prosseguir com o processo de apropriação do saber.

2. O papel da confrontação na estruturação dos conhecimentos

Num segundo tempo, sempre graças a momentos de confrontação, de discussões alternadas e de investigações (observações, experiências, procura de informações), os aprendentes vão abordar noções complementares, de maneira a ampliar o que já foi descoberto. Ocasionalmente, essa investigação oferece pouca dificuldade; o aluno (ou grupo de crianças) procede por intuição e extrapolação; pode, por exemplo, estender, a todos os líquidos, a propriedade que descobriu em alguns, e que consiste em dilatar-se quando a temperatura aumenta. Mas essa atividade pode também levar a generalizações abusivas. Assim, conferir a todos os líquidos a totalidade das propriedades descobertas para a água, pode levar a pensar que todos eles aumentam de volume ao solidificar-se (como é o caso do gelo). Isso dificulta o papel do professor. Seus esforços tenderão sobretudo a provocar e valorizar essas generalizações, mas também a fazer tomar consciência de seu aspecto hipotético, dos problemas novos levantados por seu valor relativo, bem como da necessidade de ser cauteloso em sua formulação. Veremos, mais adiante, como fazer para situar-se em relação à validade de um conhecimento.

Pouco a pouco, surgem novos assuntos próprios para a confrontação. Assim, através da comparação com outros materiais, aparece a idéia de isolante térmico; percebe-se, por exemplo, que certas substâncias “guardam o frio” ou “impedem um corpo quente de dar seu calor à pedra de gelo que está em seu contato”; ele “conserva substâncias particulares, tais como ar imobilizado”...

As confrontações com os fatos e os discursos que decorrem deles permitem, portanto, instaurar progressivamente relações cada vez mais amplas. Numa primeira aproximação, cada generalização parece corresponder a um meio de passar de uma situação dada para outra um pouco mais extensa. Esse processo, entretanto, não é evidente para o aprendente; na verdade, está ligado ao aparecimento de problemas novos. Os que foram encontrados a propósito do termômetro podem permitir passar progressivamente da dilatação da água para a dos outros líquidos e, após ter visto que essa noção também existia para os gases e os sólidos, para a dilatação em geral.

Nesse estágio, o conceito ainda não permite ao aluno entender a totalidade dos fenômenos nos quais intervém. Seu reinvestimento continua mais ou menos ligado à presença de líquido. Para que a dilatação dos sólidos e gases esteja totalmente integrada, serão necessárias mais etapas.

O papel do professor deverá consistir, pois, em encorajar e até suscitar os problemas que desembocam em ampliações que permitam extrair, pouco a pouco, o

que é importante na construção das idéias gerais. Quando há confrontação, afinam-se os conceitos existentes. O processo pode estender-se sobre vários dias, várias semanas... ou até vários anos. É importante, no momento em que se concebem as situações de ensino, fazer grandes esforços para encorajar os alunos a ligar as novas informações com as previamente coletadas.

Parece igualmente importante que a criança tome o hábito de considerar as formulações como sendo provisórias e que, a esse respeito, os professores tomem todas as precauções de linguagem para deixar um lugar para o seu questionamento. Assim, uma fórmula como “segundo nossas experiências, parece que...” facilita a passagem ulterior para uma formulação mais geral ao evitar o obstáculo da referência rígida considerada como perfeita, ou seja, definitiva.

Toda essa progressão é impossível sem um certo número de rupturas. Nessa perspectiva, é preciso lançar mão de vários mecanismos de confrontação, porém, dessa vez, com outros conceitos ou outros modelos. Com efeito, um nível de formulação não se elabora por uma simples generalização, mas também por analogias e oposições. Assim, a idéia de dilatação constrói-se por semelhança entre situações nas quais se vê aumentar o volume de um líquido, mas também, num certo sentido, por oposição aos conceitos de aumento no sentido geral, de crescimento em biologia e, provavelmente, aos de conservação da massa e do volume (“é quando o volume aumenta quando a gente aquece e a massa não aumenta”). O de dissolução formar-se-á por oposição aos de fusão, de suspensão...

Dessa maneira, desenvolvem-se, com uma enorme frequência, redes conceptuais. Constroem-se juntas (voltaremos a isso mais adiante) chocando-se e aclarando-se mutuamente, desde que seu campo de aplicação se precise⁹: a dilatação da água e o aumento de volume durante sua solidificação não aparecem mais como fenômenos contraditórios, quando as condições de temperatura estão melhor definidas. Às vezes, também, a rede se elabora quando os conceitos “operam” para contribuir na explicação de um fenômeno¹⁰.

A idéia de confrontação aparece, portanto, como um dos elementos essenciais na abordagem dos mecanismos do desenvolvimento conceptual. Mas, como procu-

⁹ Não trataremos neste livro o que se costuma definir como “questões de vocabulário”, que são na verdade problemas de significado. Com efeito, a apropriação e difusão dos conhecimentos passam também pelas palavras, mas já dissemos que, na maioria das vezes, só o som era conservado; permanecem os antigos modelos, enquanto os termos escolhidos para designá-los mudam. As palavras novas correm o risco de ser entendidas em referência às noções antigas, que permanecem praticamente inalteradas, quando não recebem um atestado de incerteza. Ou seja, os aprendentes correm o risco de utilizar uma linguagem vazia, que cumpre uma função social de prestígio (faz-se acreditar que se sabe por conhecer as palavras-chaves) e que exerce um papel psicológico tranquilizante (acredita-se saber por saber designar), mas que nada traz no plano conceptual. Nessa perspectiva, também é interessante estabelecer uma confrontação.

¹⁰ Na história das ciências, constata-se, por exemplo, que o conceito de fecundação só pode construir-se verdadeiramente em ligação com o da célula. Mas, em contrapartida, graças a muitas observações ligadas à fecundação (meiose, anímixia...), o conceito de célula pôde evoluir ao abandonar formulações do tipo: “a célula produz-se ao brotar” ou “o núcleo desaparece e reconstitui-se”.

ramos evidenciar, essa confrontação não deve ser entendida como uma agressão; trata-se fundamentalmente de uma fórmula de posta em interação, apoiada sobre as diferentes concepções emitidas, as hipóteses aventadas e os obstáculos encontrados.

3. As concepções falsas devem ser destruídas?

As confrontações desempenham um papel fundamental na construção dos conhecimentos mas, para certos conceitos, o aprendente vê-se muito rapidamente detido em seu processo de aquisição do saber científico. Com efeito, como dizíamos antes, isso é confirmado por vários estudos realizados com alunos ou adultos a respeito de cinética, eletrocinética, magnetismo, genética ou fotossíntese. A explicação reside na existência de concepções muito persistentes, mas também no fato de que essas estão muito afastadas da visão científica atual, com a qual até entram em choque ocasionalmente. O resultado é a grande dificuldade na integração de certos conceitos, por exemplo no quadro da escola elementar, sobretudo quando esses não podem ser construídos através de uma experiência direta (elemento químico, fóton e até metabolismo).

Surge uma pergunta portanto. Deve-se começar “destruindo” as falsas representações dos alunos, assim como já o preconizava Bachelard ao escrever: “A mente científica só pode constituir-se destruindo a mente não-científica” e, um pouco mais adiante: “não se trata de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura, de derrubar os obstáculos amontoados pela vida diária”¹¹?

Não há dúvida de que a idéia de um desmantelamento das concepções falsas pode seduzir e ser totalmente lógica; mas será ela sempre realista? Retomemos o exemplo da respiração do peixe-vermelho, detalhada no primeiro capítulo. Nesse caso, parece-nos indispensável tentar, em primeiro lugar, fazer a criança integrar o fato de que o animal não tem pulmões. Da mesma maneira, em outro estudo realizado junto a alunos com 16-18 anos de idade a respeito da fotossíntese, foi necessário começar refutando a idéia de que as plantas alimentavam-se unicamente a partir de substâncias contidas no solo. Em ambos os casos, as representações parecem poder ser questionadas diretamente, desde que se tenha os meios para isso. Mas será possível generalizar essa atitude? Em particular, será sempre possível destruir uma concepção inicial fornecendo a resposta correta?

Semelhante prática parece aproximar-se das pedagogias do tipo transmissivo, das quais já mostramos a ineficácia; poder-se-ia pensar, porém, que isso se deve unicamente ao fato de que elas não levam em consideração as representações iniciais. No caso oposto, não poderiam ser melhoradas? Temos observado, em aulas muito diferentes, este tipo de seqüência: após ter localizado um erro, o professor tenta eliminá-lo insistindo, particularmente, nos pontos que ele quer fazer adquirir no lugar da crença prévia. A título de exemplo, propomos colocar-nos nas condições

¹¹ G. BACHELARD, *La philosophie du non* [A filosofia do não], PUF, 1975, 7ª edição.

aparentemente mais favoráveis, trabalhando com alunos jovens, dos quais se pode supor que as concepções estão menos fixadas. Analisemos um trecho de um filme do CNDP¹², no qual a professora tenta questionar uma representação formulada por uma criança, relacionada com a saída do recém-nascido pelo ânus. A professora tenta questionar esse tipo de afirmação, clássica, naquela idade, e partilhada por várias crianças. Para tentar destruir essa concepção, ela apresenta um diapositivo que mostra um esquema muito simplificado de uma mulher grávida vista de perfil; distingue-se, particularmente bem, o final das três vias digestivas, urinária e genital. A professora completa essa observação com o seguinte comentário:

“... ”

P – Não, não, não, vejam, há um buraco ali no meio, e a gente vê claramente que esse é o buraco por onde o nenê vai sair; aqui também há outro buraco que vai no tubo e ali foi desenhado outro buraco; olhem bem a mãe para ver como é; para vocês, para que serve isso (mostrando o ânus)

P – Ali, atrás (mostrando novamente o ânus e o reto)

– É para o cocô.

– O cocô.

P – É para o cocô, é, muito bem, aí está, aí está o buraco, a chegada do tubo do cocô. E aqui na frente, então, serve para o quê?

– Para o xixi. (várias crianças)

P – E é para o xixi; é isso! Vocês podem ver, há um buraco, um tubo para cada coisa”.

Após essa explicação “brutal”, realizada com “provas”, podia-se esperar que todos os alunos tivessem integrado o fato de que o nenê e o cocô não estavam misturados no ventre e que, contidos em dois condutos claramente diferentes, não saíam pelo mesmo orifício. Uma conversa posterior levou-nos a nuançar fortemente nossa opinião. O que parecia ter retido a atenção de uma criança, por exemplo, era a “*forma do ventre da mãe*”, “*certamente não podia mais ver seus pés*”. Quanto à presença de três orifícios com conteúdos diferentes e desembocaduras separadas, a resposta foi evasiva; não estava preocupada com isso. Na verdade, com essa explicação dada de maneira direta, a professora não deixou às crianças o tempo de elas mesmas levantarem um problema, quando colocadas ante uma contradição aparente; após uma rápida confrontação com observações de outros alunos, a professora foi quem respondeu. Não havendo as etapas de observação real e manipulação (!), certos alunos não estavam, ao que parece, prontos para integrar esse fato.

Pode-se pensar então que, quando um “erro”, no sentido tradicional do termo, corresponde a uma representação subjacente e não ao desconhecimento de um saber factual, revela-se utópico acreditar que uma explicação fornecida pelo professor (por mais clara que seja) possa sistematicamente resolver o problema. Para tentar-

¹² G. DE VECCHI, G. DECROIX, *Le corps de l'enfant à l'école* [O corpo da criança na escola], Atelier Pédagogique, CNDP, 1980.

mos aclarar esse aspecto, testamos, com vários sujeitos e em aulas de níveis diferentes, um método utilizado na formação dos adultos e que parece levar em consideração as concepções dos aprendentes¹³. Esse método tem por base outra idéia de Bachelard precisando que “a passagem da representação para o conceito não pode se conceber senão como o resultado da eliminação de elementos subjetivos e de uma redução aos fatores comuns extraídos pelo conhecimento científico”. Para isso, faz-se surgir as concepções, trazem-se os conhecimentos exatos, mostra-se onde estão os erros contidos nessas concepções prévias e tenta-se fazer entender aos aprendentes por que puderam existir. A título de ilustração, descreveremos uma experiência relacionada com o conceito de digestão¹⁴. Durante atividades anteriormente realizadas numa aula (pré-teste, desenho + questionário, e discussão por ocasião do estudo da estrutura do tubo digestivo), uma representação aparecera muito claramente num certo número de crianças; surgia através de observações do tipo: “*tudo que entra sob forma de alimentos sai sob forma de cocô*” ou ainda “*os alimentos passam*”. A partir disso, no quadro de uma pedagogia dialogada, o professor explica muito claramente (parece-nos) que o corpo funciona como uma máquina e que ele precisa de energia, assim como um carro precisa de gasolina; essa energia é essencialmente fornecida pelos alimentos. A seguir, utilizando um mapa anatômico, localiza o local de passagem dos alimentos no sangue (a estrutura do aparelho digestivo foi estudada anteriormente). O professor volta a seguir ao pré-teste, citando algumas observações das crianças, que ele escreve no quadro; a seguir, precisa que, nesse questionário, apenas quatro alunos mencionaram que uma parte dos alimentos permanecia no corpo. Ele cita esses quatro alunos para colocar os outros frente aos seus erros. Retomando as frases do quadro que ilustram a representação errada, o professor explica que é normal que muitos deles tenham-se equivocado ou não tenham pensado nesse aspecto; com efeito, somente se conhece, pela própria experiência, a entrada dos alimentos e a saída dos dejetos; faz-se naturalmente uma relação entre ambas, mas não se vê o que ocorre entre a boca e o ânus. Por fim, voltando para certos desenhos do pré-teste que apresentam o aparelho digestivo como um tubo contínuo que tem uma entrada e uma saída, mas sem nenhuma abertura interna, o professor mostra que era portanto lógico poder pensar que os alimentos só passavam, mesmo que transformados. Critica também um desenho no qual nada sai do corpo, pois o tubo digestivo termina com um estômago fechado. Para concluir, o professor pergunta às crianças se todas entenderam e se estão de acordo; aparentemente, sim. Doze dias depois, a totalidade da aula é submetida a um teste; entre 23 alunos, apenas 10 admitem a idéia de que uma parte dos alimentos permanece no corpo. Verificamos, através de entrevistas individuais, que as respostas erradas não tinham como origem uma incompreensão da questão, mas sim uma não-integração do conhecimento implicado. Isso parece incrível: os resultados são sensivelmente os mes-

¹³ J. MIGNE, La notion de représentation en pédagogie des adultes [A noção de representação na pedagogia dos adultos], *Pour*, N° 49, junho de 1976.

¹⁴ Pesquisa G. DE VECCHI, quarta série (crianças com 9-10 anos), 1983.

mos do que os que obtivemos nas aulas onde as representações prévias não haviam sido levadas em consideração.

Pensar que uma “boa explicação, muito clara”, sobre a qual se insiste mais, particularmente, é suficiente para transformar uma concepção inicial, revela ser, portanto, uma idéia relativamente simplista. Com efeito, embora se possa obter alguns resultados através desse método, quando se trata de conhecimentos factuais realmente simples ou quando uma idéia não entra em contradição com as representações infantis, só podemos, na maioria dos casos, constatar o fracasso quando se aborda o saber conceptual. Essa prática não leva em conta o fato de que, como vimos, um conceito não se aprende numa vez só, mas sim afina-se progressivamente. Além do mais, é preciso levar em conta também a idéia de que uma noção nunca está isolada, mas sim em relação com outras que evoluem juntamente com ela. E, quando se considera a totalidade dos alunos, “os mesmos observáveis podem ser integrados de maneira diferente de acordo com as construções prévias. As representações conservadas na memória semântica irão determinar a maneira de interpretar os observáveis, sua seleção, seu significado, sua integração a um novo conhecimento”¹⁵. Por fim, segundo Georges Mauco, “as teimosias sem razão... costumam não ter outras causas que não uma confusão entre símbolo e idéia recalcada inconsciente”¹⁶. Por “símbolo”, Mauco subentende objeto de estudo; isso significa que uma representação pode corresponder a uma afirmação consciente que está em relação com um modelo implícito localizado no campo inconsciente. Nesse caso, o mestre pode sempre apreendê-lo?

Quanto à própria idéia de “destruir”, isso merece algumas considerações: esse termo contém em si uma idéia de violência: é atacar a própria matéria, é querer aniquilar. Têm-se utilizado também os termos “evacuar”, “purgar”, “extirpar”. É verdade que “purgar” corresponde a um elemento que, tendo entrado no corpo, vai sair dele após ter desempenhado um certo papel “extirpar” evidencia a dificuldade de eliminar certas concepções. Mas será que se trata de uma catarse, de uma purificação, mesmo que o estado final seja salutar? Acreditamos que esses termos sejam relativamente inadequados e que as idéias que os geram devam ser afinadas. Temos observado, com efeito, que nem sempre é possível “desmontar” as idéias presentes, pois sua familiaridade faz com que elas resistam a qualquer prova, mesmo quando se fornece a resposta correta e esta parece-nos evidente. Acrescentemos que, ocasionalmente, esse processo é inútil, até nefasto, pois o aprendente fica profundamente perturbado e permanece bloqueado em suas concepções prévias; é melhor então apoiar-se nestas últimas de maneira a superar o obstáculo nas melhores condições possíveis.

¹⁵ M. MATERSKA, Semantic memory structure and function, “A genetic approach” [Estrutura e função da memória semântica, “Uma abordagem genética”], Varsóvia, 1981 (não publicado), citado por R.P. GAGLIARDI in Les concepts structurants en Biologie [Os conceitos estruturantes em Biologia], *Actes des 5^{mes} Journées Internationales sur l'Éducation scientifique*, Chamonix, fevereiro de 1983.

¹⁶ G. MAUCO, *Psychanalyse et éducation* [Psicanálise e educação].

4. O lugar das concepções falsas e o campo de validade de um saber

Duas outras razões nos levam a pensar que é perigoso às vezes querer “destruir” uma representação inicial. Em certos casos, esta constitui a única grade de leitura que um aluno pode utilizar para apreender a realidade; ele irá sentir-se “desnortado”. Por outro lado, mostraremos que certas concepções falsas também podem ser úteis.

Tomemos, por exemplo, a representação substancialista que os alunos, e muitos adultos têm a respeito da energia calorífica. Para eles, o calor é essencialmente um fluido que se propaga de um corpo quente para outro corpo menos quente. Assim, um estudo sobre o “calor” poderia começar com a refutação da idéia de fluido, seguida pela introdução de um modelo de agitação molecular. No estágio atual de nossos trabalhos, ainda não conseguimos eliminar, de maneira expressiva, essa concepção dos aprendentes, apesar de aventarmos muitos argumentos situados em vários níveis. Para isso, nos apoiamos, ao mesmo tempo, em informações variadas e em experiências, é verdade que nem sempre evidentes, quando confrontadas com os sistemas de pensamento dos alunos. Da mesma maneira, os diversos modelos que temos tentado introduzir revelaram-se igualmente vãos.

Esses dois fracassos nos incentivaram a interrogar-nos sobre o lugar dessa concepção falsa; manifestou-se então seu interesse: ocorre, com efeito, que o modelo de fluido, considerado como falso pela ciência de hoje, revela-se na verdade suficiente para resolver todos os problemas da vida diária (calorimetria, permutas de calor, economias de energia). É verdade também que Carnot não precisou de outro modelo para assentar seus princípios de termodinâmica.

Donde a hipótese que formulamos: antes do que querer dismantelar radicalmente as concepções falsas, preferimos considerar representações que “evoluem” ou que “se modificam”; parece-nos portanto forte demais a hipótese nascida das idéias de Bachelard. Um saber novo não destrói o modelo preexistente mas, na maioria dos casos, obriga-o a adaptar-se, de maneira que essa nova estrutura possa integrar o conhecimento suplementar. Ou seja, não há destruição, mas sim transformação, e é bom jogar então com essa transformação; e até, quando se fala em “tenacidade” ou “resistência”, não se deve extrapolar pois, como escrevem P. Clément *et alii*, “esse vocabulário pode permanecer ambíguo: sugere também, talvez involuntariamente, que o objetivo da pedagogia seria o de “lutar contra” as representações iniciais, de extirpá-las para colocar em seu lugar modelos mais cientificamente fundados”¹⁷. Os autores citados precisam ainda: “é pela lenta rotatividade das células que os elementos digeridos acabam, no fim, renovando a matéria do corpo. A constituição inicial do corpo não resiste, existe e renova-se a partir do que é digerido. Se os elementos de

¹⁷ P. CLEMENT, A.L. SEVERIN e A. LUCIANI, Les représentations en biologie et les objectifs de la pédagogie: digérer ou régurgiter? [As representações em Biologia e os objetivos da pedagogia: digerir ou regurgitar?], *Actes des 5^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifique*, Chamonix, fevereiro de 1983.

conhecimento nunca são “assimilados” mas simplesmente “regurgitados” sem ser “digeridos”, essa renovação far-se-á sem eles, de acordo com os mecanismos anteriores, aqueles que fundamentaram e reforçaram as representações iniciais”.

Não se trata mais hoje, portanto, de trabalhar “contra” ou “com” as representações dos aprendentes, mas sim ambos ao mesmo tempo e numa interação alostérica; da mesma maneira, é difícil falar em concepções “falsas” ou “verdadeiras”. Preferimos por no lugar disso a idéia de “campo de validade” de uma representação. Esta última poderá ser conservada enquanto permitir entender os fenômenos que se apresentam e enquanto estiver adaptada às previsões ao alcance dos aprendentes. Quando seu “nível de ruptura” for atingido, terá chegado a hora de mudá-la. Uma concepção pode ser considerada, pois, como uma estrutura utilizável num determinado campo de aplicação, mais ou menos restrito conforme o grau de evolução do conceito implicado. Ou seja, nem sempre uma representação falsa está errada; pode ser apenas “relativamente falsa”. Aliás, não é que algumas dessas concepções, refutadas hoje pela ciência, permitiram às diferentes civilizações viverem e resolverem numerosos problemas? Não esqueçamos que o que faz com que uma representação corresponda a um conhecimento é que ela é utilizável, ela, como diz Wallon¹⁸, desemboca na ação. E, quando um conceito é enunciado de uma maneira mais geral, ele se afasta das aplicações práticas, não é mais operatório. Ou seja, o professor deve estar atento a esse problema; ele é quem deve escolher o campo de validade do conceito abordado pelos aprendentes. A utilização de “modelos simplificados, até simplistas”¹⁹ permitirá resolver problemas que não poderão ser senão limitados, mas que permanecerão ao alcance dos alunos; isso corresponderá a uma “teoria provisória porém operacional”¹⁹ e será necessário precisar as fronteiras de validade desse modelo.

Pode-se rejeitar essa escolha pedagógica avançando como argumento que raciocínios fundados em conhecimentos sólidos, adquiridos posteriormente, permitem não cair nesse tipo de armadilha. Mas o que está sendo questionado aqui é a própria aquisição do saber e não se pode cogitar rejeitar qualquer conhecimento que algum dia possa ser questionado. Trata-se apenas de delimitar seu campo de aplicação.

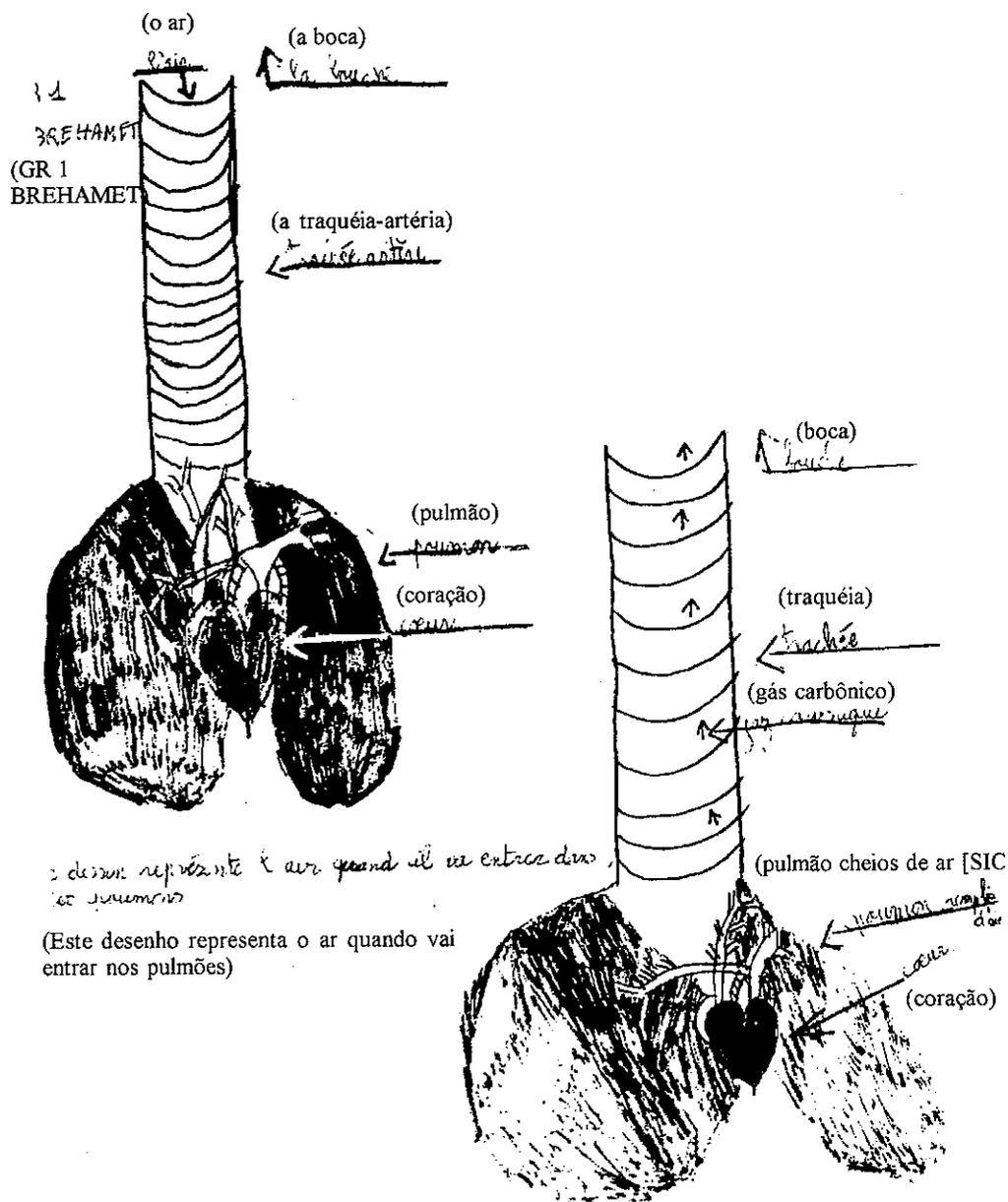
Afinal, será que existem “representações verdadeiras”? Sabe-se qual é o estatuto da “Verdade” nas ciências: “os cientistas criaram modelos que se apegam aos fatos. Após a evolução histórica, para resolver as contradições e afinar a teoria, foram elaborados modelos cada vez mais poderosos. O único modelo válido para os cientistas é o último”¹⁹.

Assim, aprender significa passar de uma representação falsa a uma representação um pouco mais correta (com a ampliação do campo de validade). Parece-nos lógico, pois, aceitar trabalhar a idéia de que um professor trabalhe para a construção de uma representação que ele sabe ser parcialmente falsa, mas que corresponde a um

¹⁸ H. WALLON, *L'évolution psychologique de l'enfant* [A evolução psicológica da criança], A. Collin, 1ª edição, 1941.

¹⁹ Segundo J. MARZER, Synthèse d'un travail en atelier: la construction des concepts [Síntese de um trabalho em ateliê: a construção dos conceitos], *Actes des 5^{èmes} Journées Internationales sur l'Education Scientifique*, Chamonix, fevereiro de 1983.

modelo explicativo que permite ao aprendiz explicar um certo número de fatos. Este poderá ser ulteriormente questionado; assim foi com o modelo atômico, com o de célula, assim será com os da genética...



(Este desenho representa o ar quando entrou nos pulmões e o gás carbônico que sobe de volta)

ce dessin représente l'air quand il est sorti des poumons et le gaz carbonique qui remonte

10

DOS CONCEITOS AOS CAMPOS CONCEPTUAIS

A construção do conhecimento corresponde, pois, a uma ampliação do fato de que não se almejam aquisições factuais, mas antes conceitos. Surge, portanto, um problema: até onde essa ampliação pode chegar?

1. O lugar da conceptualização na elaboração do saber científico

O que temos desenvolvido, até agora, nos leva a pensar que os conceitos constituem, ao mesmo tempo, pontos de agrupamento e instrumentos de investigação na elaboração das ciências. Permitem reunir um conjunto de aquisições esparsas, oriundas das observações, experiências ou investigações realizadas com o fim de responder a um certo número de questões. Assim, a noção de evaporação-condensação pode reunir conhecimentos sobre a ebulição, a destilação, as salinas, vapor úmido, o nevoeiro, o orvalho... noções essas diretamente ligadas à idéia de mudanças de estado da matéria. Da mesma maneira, o conceito de fecundação permite agrupar aquisições sobre os diversos modos de reprodução (ovíparo, vivíparo), sobre a transmissão dos caracteres hereditários, sobre a formação das espécies... Um conceito, pois, põe em relação fenômenos que, num primeiro tempo, parecem divergentes; torna-os explícitos através de alguns princípios organizadores comuns.

Os conceitos são também instrumentos de investigação, pois podem ser o ponto de partida de novas pesquisas que permitam a conexão entre certas aquisições. Os conceitos de cromossomo e gene permitiram pesquisar as relações existentes entre as abordagens hereditária e citológica, antes de abordar as questões relativas à sua expressão e realização. Os relacionamentos podem ser ainda mais amplos; assim é com o conceito de isolante em eletricidade e termodinâmica, o de ondas para os campos sonoros, eletromagnéticos, e o de força nos diversos aspectos da estrutura da matéria, desde a gravitação até as forças eletromagnéticas fracas, etc.

As atividades de conceptualização têm representado momentos muito importantes na aquisição do saber científico. Aventamos a hipótese de que também podem ser fundamentais no plano pedagógico. Infelizmente, foram eludidas ou subestimadas no ensino, pois, como dizíamos antes, os conceitos não se elaboram nem separa-

damente uns dos outros nem, como o pretendem as pedagogias tradicionais e, mais ainda, os behavioristas, por acumulação de subconceitos (subobjetivos).

Para abordarmos essa questão, gostaríamos de promover duas ferramentas didáticas, a aura conceptual e os patamares de integração, que permitem dar um significado maior às confrontações necessárias que acabamos de tratar.

2. A aura conceptual

Várias pesquisas, empreendidas tanto no plano histórico como no nível da construção do saber nos aprendentes, levam-nos a constatar que um tema de estudo, mesmo que bem delimitado, está incluído num vasto campo conceptual que ultrapassa de longe a disciplina implicada. Não nos parece possível realizar um trabalho sério sem levar em consideração esses elementos periféricos, mais ou menos difusos, cujo conjunto constitui o que chamamos a aura conceptual. Esse ponto é importante, pois ele permite entender, em parte ao menos, por que, na maioria dos casos, o conhecimento não se transmite. O formador navega nessa aura conceptual que ele domina relativamente bem, sem se perguntar se os aprendentes são capazes de fazer o mesmo, e sem tomar consciência de que as noções às quais ele se refere não são integradas, mais particularmente, quando se trata de crianças.

Donde a necessidade de abordar, através dessa idéia, a totalidade das noções e conceitos utilizados quando se apreende um estudo disciplinar ou interdisciplinar. Essa aura conceptual, relativamente difusa (donde seu nome), pois freqüentemente muito extensa, manifesta-se através das concepções dos aprendentes. A título de ilustração, vejamos do quê está composta, quando se considera um assunto que parece bem enquadrado como o estudo do tubo digestivo do homem (veja o quadro).

Como essas noções revelam-se indispensáveis à uma abordagem clara do assunto, uma hipótese poderia ser aventada: não seria necessário que o aprendente abordasse, previamente, os diferentes elementos cognitivos indispensáveis ao estudo de um assunto? Assim, não ficariam contornadas todas as dificuldades? Tentamos considerar isso¹. Do conjunto das noções da aura conceptual úteis para o estudo do aparelho digestivo, tomemos, por exemplo a filtração. À primeira vista, trata-se de uma idéia simples, bem circunscrita e que pode ser tratada rapidamente. Após experimentação, crianças com 9-10 anos de idade podem permanecer num nível de formulação elementar: “*um filtro tem pequenos buracos que só deixam passar o que for muito fino, o que for mais pequeno do que os pequenos buracos*” (formulação elaborada por todo o grupo). Mas será, na verdade, que os aprendentes podem apropriar-se tão facilmente dessa noção? Não apelará ela também para outras noções? Não possuirá, ela também, sua aura conceptual? Tentamos comprovar isso. Tome-

¹ G. DE VECCHI, *Modalités de prise en compte des représentations enfantines en biologie à l'école élémentaire et leur intérêt dans la formation des professeurs* [Modalidades de tomada em consideração das representações infantis na escola elementar e seu interesse na formação dos professores], Tese de 3º Ciclo, Paris VII, 1984.

AURA CONCEPTUAL LIGADA AO APARELHO DIGESTIVO

CONCEITOS BIOLÓGICOS	<ul style="list-style-type: none"> - órgão - aparelho - função (e relação entre estrutura e função) - meio interno - unidade do organismo - músculo - excreção - crescimento - embriogênese - adaptação e evolução
CONCEITOS FÍSICOS	<ul style="list-style-type: none"> - estados da matéria (sólido, líquido) - pressão - filtração, dissolução, suspensão - dinâmica dos fluidos
CONCEITOS QUÍMICOS	<ul style="list-style-type: none"> - corpos químicos simples e compostos - molécula, átomo - reação química e transformação da matéria
CONCEITOS DE NATUREZA PSICOGENÉTICA	<ul style="list-style-type: none"> - tempo (duração, sucessão de fases) - escala de grandezas - passagem de 2 a 3 dimensões - conservação da matéria - causalidade - não-finalismo do biológico - questionamento do antropomorfismo

mos o exemplo de um trabalho realizado numa aula cujos alunos têm entre 9 e 10 anos. Levantaram-se sucessivamente várias perguntas.

Buracos podem existir quando não visíveis? A observação de uma criança nos fez perguntar para toda a aula, após a realização da respectiva experiência: “quando se olha para o filtro de café, não se vêem buracos; como pode a água passar através do filtro?” Apenas 9 entre 23 crianças respondem a esse teste apelando para pequenos orifícios invisíveis (se compararmos com outras aulas, esse resultado é excelente!); mas a maioria propõe interpretações errôneas.

Alguns aceitam isso como uma realidade em si:

Por exemplo,

Marc: “*Não há buracos, mas a água passa igual.*”

Professor: Como ela faz para passar?

Marc: “*pois, assim* (Marc parece considerar isso como evidente).

Outros utilizam uma “regra”:

Por exemplo,

Barbara: “*A água sempre passa através dos papéis.*”

Professor: Todos os papéis?

Barbara: "Sim."

Professor: Mesmo o papel de alumínio?

Barbara: (silêncio).

Muitos raciocinam por analogias, utilizando uma simples comparação que não fornece nenhuma explicação real ("o filtro é como (o pano) e quando se coloca (um pano) na água, a água passa através do (pano)" ou apoiando-se numa comparação que faz aparecer uma certa lógica, mesmo que falsa ("porque o filtro tem uma matéria que não é suficientemente sólida e a água rói o filtro" ou "ao molhar o filtro, a água faz pequenos buracos").

A idéia de transformação do filtro é encontrada em outros 4 alunos; vários deles, aliás, afirmaram que antes da água ser colocada no filtro não havia buracos e que, depois, viram buracos no filtro. Às vezes, a analogia é ainda mais fantasiosa:

Béatrice: "A água passa através do filtro evaporando-se e indo para o ar."

Professor: Mas, então, como a água está dentro do recipiente.

Béatrice: "Ela cai de volta." (Ela parece plenamente satisfeita com a explicação.)

Uma entrevista posterior, porém, faz ressaltar que, para Béatrice, a evaporação é um fenômeno que, anteriormente estudado, foi bastante bem entendido.

Às vezes, a "causa" é confundida, na verdade, com o efeito (idéia de causalidade ainda mal construída):

Por exemplo,

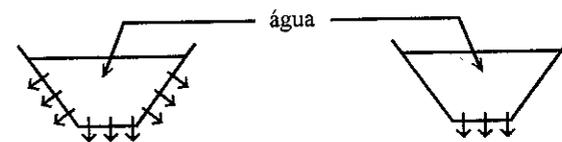
Hélène: "A água passa através do filtro porque a água molha o filtro."

Professor: Ou seja?

Hélène: "É a água que molha o filtro que permite atravessar."

Observemos no entanto que se, no início, muitos não concebiam a presença de pequenos buracos "caso contrário, a gente os veria", a explicação que seguiu a discussão parece ter sido eficaz (verificado por um pós-teste 3 dias depois). Mas nem por isso se deve deduzir que isso seja o suficiente.

Foi levantado outro problema: "a água atravessa o filtro em toda sua superfície ou somente na base do filtro (ver esquema)? Por quê?"



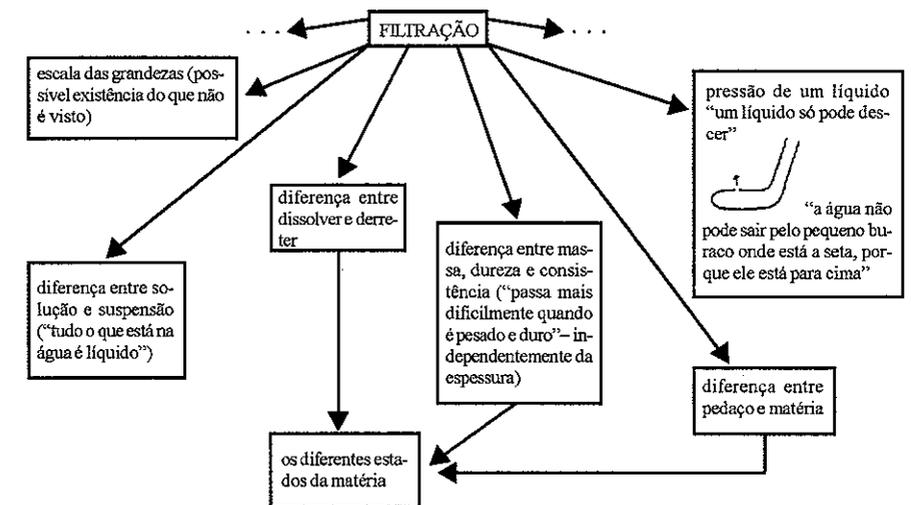
(Pergunta formulada após experimentação – com água e café, água e chocolate em pó – e explicação do esquema bidimensional, da palavra "base" e do significado das setas.)

Apenas 5 entre 23 crianças acham que o filtro se deixa atravessar em toda sua superfície (entre os quais 1 explica que "é porque a água fura em todos os lugares e empurra os lados, então ela fura o filtro"). As justificativas dadas pelos outros alunos, que pensam que apenas a base do filtro se deixa atravessar, são significativas: porque "é de papel", "é uma matéria sólida", "quando a gente despeja, faz buracos embaixo", "na cafeteira, os buracos estão embaixo", "o filtro tem bordas

inclinadas", "senão, correria por todos os lados" (8 crianças), "transbordaria", "a água vai reto", "a água só pode correr para baixo". Após uma nova experiência na qual essa questão é mais particularmente estudada e após a confrontação coletiva das respostas, só há um aluno que pensa que o filtro pode ser atravessado pela água em toda a sua superfície (!); até aqueles que haviam tomado consciência de que os buracos estavam localizados em toda a superfície do filtro fazem a água passar apenas pela base, pois "a gente fez a experiência e viu que a água só corria abaixo", "quando está sobre a máquina, sobre a cafeteira, o filtro parece estar colado", "o filtro está todo molhado, mas a água não passa, passa na base porque desce".

Entendem-se portanto as dificuldades que certas crianças podem encontrar para apreender a assimilação intestinal em boas condições! Nove alunos até pensaram, durante um certo tempo, que, ao filtrar chocolate em pó dissolvido em água, "a água passa por cima dos pequenos grãos de chocolate e toma a cor do chocolate", isto é, "a cor passou, mas não o chocolate".

Ao continuar com esse tipo de pesquisa, percebemos que uma noção tão pouco extensa como a da filtração apelava para um grande número de dados que se entremisturavam, isto é, sua aura conceptual parecia-nos ampliar-se à medida de nossa progressão. Assim, foram determinados alguns elementos suscetíveis de constituir a aura conceptual ligada à idéia de filtração:



Assim, em cada etapa, a emergência das representações mostra que se faz referência a noções sem que estas sejam adquiridas pelos alunos. Esse exemplo não representa uma exceção; temos observado o mesmo fenômeno em assuntos extremamente diferentes.

Apesar de tudo, poder-se-ia imaginar uma seqüência lógica, muito estruturada, organizando os conceitos e os temas de estudo uns após os outros. Mas, o que fazer

então com as motivações dos aprendentes, suas concepções individuais, os problemas de atualidade, das experiências da aula enquanto fator desencadeante, da liberdade e da personalidade dos professores? Como, na sala de aula, os alunos não se apropriariam corretamente dos conhecimentos sem um mínimo de motivação, não seria necessário pedir aos professores que os criassem artificialmente, isso de uma maneira sistemática para cada tema? Não cairíamos no contrário frequentemente observado hoje, que consiste, para o ensinante, em fazer os alunos acreditarem que o assunto, o processo, o resumo escrito no caderno de Ciências vêm deles, quando tudo foi preparado de antemão, e o professor aproveitou dos alunos somente aquilo que correspondia ao que ele havia previsto? É assim que tornamos os alunos autônomos e responsáveis?²

Aliás, mesmo que se quisesse programar uma progressão desse tipo, isso seria impossível: certos conceitos só podem ser construídos ao mesmo tempo; não é a Biologia, por exemplo, uma das disciplinas onde uma abordagem sistêmica é totalmente necessária?

Sendo assim, será que devemos concluir que é inútil dedicar-se à aquisição de conceitos científicos e que qualquer tentativa só pode estar fadada ao fracasso? Não pensamos absolutamente dessa maneira, desde que se considere o aprendizado sob outro aspecto. Temos insistido mais particularmente no fato de que é preciso partir do aprendente, de suas preocupações, de seu questionamento, levando-se, para isso, suas concepções em consideração. Temos mostrado também a necessidade de pô-lo em condição de apropriar-se do conhecimento, ou seja, não dar-lhe “tudo mastigado”, isto é, propor-lhe situações didáticas nas quais ele é levado a confrontar-se com certos problemas e a “decorticar” o saber, de maneira a integrá-lo reconstruindo-o. Mas é preciso também aceitar a idéia de que um conceito não se elabora a partir do estudo de um tema (como se costuma fazer ainda hoje), mas sim que sua estruturação pode ser muito lenta, progressiva e considerada através de diferentes assuntos de estudo e um certo número de situações vividas. Abordar separadamente os conceitos só pode corresponder a um processo muito artificial, e antes do que escolher uma abordagem linear no tempo (1º conceito, 2º conceito, 3º conceito), parece mais lógico, através de um conjunto de atividades distribuídas numa exposição, em todo o ano, num ciclo escolar, toda a vida até, esforçar-se para fazê-los evoluir ao mesmo tempo, tentando levar cada aprendente a construir o maior número possível de ligações entre os diversos conhecimentos. Poder-se-ia até imaginar, na pedagogia, que essas tramas, gradualmente elaboradas, possam ser transmitidas, no ano seguinte, para os novos professores; isso permitiria uma progressão mais estruturada e num prazo maior. Isso não elimina o fato de que, num momento dado, um conceito possa ser privilegiado em relação aos outros, abordado, porém, levando-se os outros em

² Essa prática é bem integrada por muitos professores: um jovem professor do 1º Grau até nos perguntou: “Como fazer para levar os alunos a acreditarem que o que a gente faz vem deles?” Falando com ele, fizemos com que ele tomasse consciência de que isso correspondia a uma de suas representações da pedagogia, ligada ao fato de que a vivera assim quando era aluno e que, portanto, não estava enganado.

consideração. Isso implica também que o ensinante não queira fazer aprender coisas em demasia, não entre por demais em certos detalhes, pois um conhecimento factual não deve ser uma meta, mas sim um meio para servir aos conceitos em construção.

3. Níveis de formulação e patamares de integração

Mostramos que o que nos parecia importante correspondia à aquisição de um saber conceptual que se construía progressivamente. Analisaremos agora esse problema, tentando determinar de que maneira se concretiza. Precisar e avaliar esse tipo de progressão, com efeito, parece extremamente difícil. Certas pesquisas teóricas têm tentado definir níveis que, na maioria das vezes, estão em relação com o saber universitário. Parece indispensável, atualmente, realizar esse trabalho, levando-se em consideração os aprendentes, através de suas concepções e da maneira com a qual estas evoluem. Consideraremos, primeiro, o que é chamado hoje de níveis de formulação, antes de tentarmos definir uma nova noção, mais fina, que denominamos “patamares de integração”.

Um nível de formulação é determinado por uma soma de conhecimentos necessários para construir um enunciado, um estágio de evolução no desenvolvimento psicogenético e uma prática social (vivência constituindo o suporte para a formulação do conceito). Trata-se, pois, de um enunciado correspondente a um limiar alcançado: numa primeira aproximação, seria um certo nível de abstração.

Não se pode confundir, porém, nível de formulação e nível lingüístico; este último não é, senão, a expressão de um conceito através das formulações totalmente gramaticais, não é, senão, como diz Michel Develay³, “uma formulação lingüística de um nível”.

Podemos imediatamente entrever o papel que as concepções podem desempenhar na identificação dos níveis de formulação. As representações, porém, correspondem também a “brotos” do futuro conhecimento, que se desenvolverão de maneira progressiva. Não se trata, para o formador, de fazer evoluir uma formulação precisa (uma frase dita por um aluno), mas sim a estrutura subjacente que ela representa: uma frase é apenas um indício. Ou seja, não se poderá tomar, ao pé da letra, cada uma das observações infantis, mas antes tentar situá-las em relação às representações que pertencem a uma ordem mais geral.

Vejamos isso com mais precisão analisando-o com a ajuda de alguns exemplos. Eis um texto elaborado por um grupo de cinco alunos com 9-10 anos de idade que estudaram o conceito de digestão:

“O aparelho digestivo transforma os alimentos pelos dentes e no estômago; a seguir, os alimentos são filtrados no intestino delgado; parte deles passa através do intestino para ir no sangue que vai carregar esses alimentos até todos os órgãos para alimentá-los. O resto dos alimentos irá para o intestino grosso para serem rejeitados pelo ânus”.

³ M. DEVELAY, *A propos des niveaux de formulation* [A respeito dos níveis de formulação], Documento interno, INRP, 1984.

Embora inclua algumas imprecisões, essa afirmação evidencia claramente a culminação do trabalho realizado. Com efeito, aparecem nela as idéias de progressão, transformação, triagem dos alimentos, estocagem dos dejetos e até a abordagem do papel do alimento. O aspecto enzimático da digestão não está presente, poderá ser o objeto de um estudo posterior, quando a noção de reação química tiver sido construída.

Como a passagem de um nível a outro é lenta, poderão suceder-se várias formulações relativas a um mesmo conceito. O quadro a seguir dá alguns exemplos relativos à construção da idéia de regime alimentar para crianças com 6, 12 anos de idade.

1. Um animal precisa alimentar-se para viver; seu regime alimentar é o que ele come.
2. O regime alimentar de uma espécie animal é o que sua estrutura e seu comportamento lhe permitem comer; existem, por exemplo, carnívoros, herbívoros, diversívoros...
3. O regime alimentar dos animais depende de sua estrutura e comportamento, mas também do que eles encontram em seu meio de vida e que varia de um lugar a outro e de um período do ano a outro.

É possível ir mais longe, porém, na análise da evolução da apropriação do saber pelos aprendentes. Os níveis de formulação são amiúde objetivos a longo prazo. Até ocorre que, na aula, um professor seja obrigado a trabalhar sobre a aquisição de uma noção que só poderá ser efetivamente integrada alguns anos mais tarde. Marcos tão espaçados não nos parecem suficientes para seguir uma progressão. Determinamos etapas intermediárias que permitem seguir, com uma maior precisão, a evolução da construção dos conhecimentos. Ademais, um nível de formulação refere-se a um conceito (poderíamos dizer, "limita-se" a um conceito); não leva em conta a evolução paralela dos elementos periféricos que formam a aura conceptual. Assim, fomos levados a definir o que chamamos de "patamares de integração". Estes permitem analisar a progressão dos aprendentes dentro de cada assunto de estudo.

Os aprendentes passarão de um patamar de integração a outro quando o fenômeno estudado trazer uma formulação um pouco mais geral ou quando houver apropriação de uma idéia nova (aporte esse que apela para um ou mais conceitos da aura conceptual, e não ao único conceito "pivô" definido pelo assunto). Isso acrescentar-se-á, pois, à evolução dos níveis de formulação.

Ilustremos isso com um estudo relativo ao regime alimentar de um animal (das poças d'água, o percevejo d'água)⁴ (*notonecte* em francês). Aproveitamos apenas algumas das observações infantis coletadas ao longo do tema de estudo, suscetíveis de corresponder, cada uma delas, a um patamar de integração.

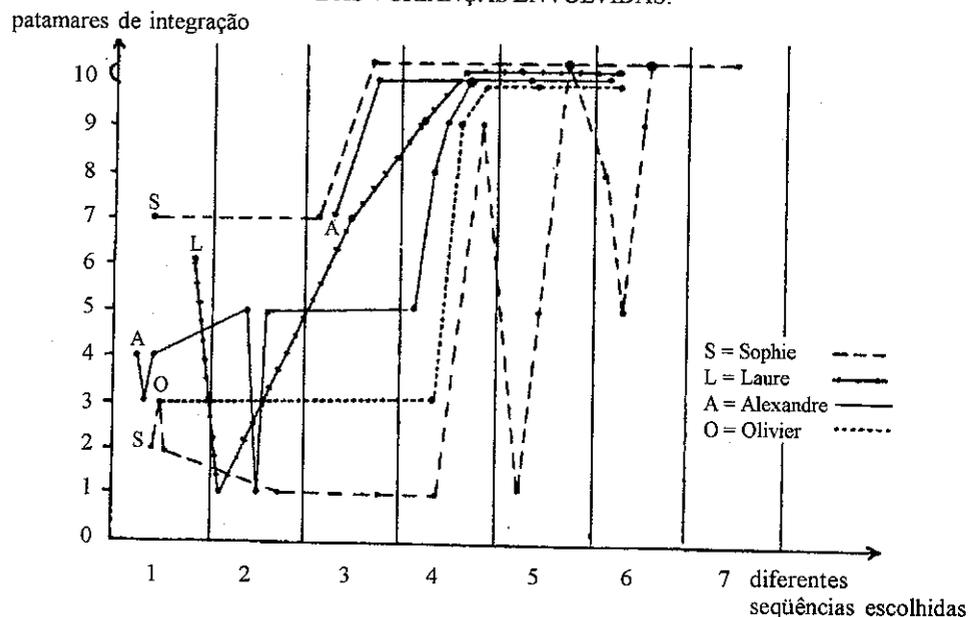
⁴ Segundo G. DE VECCHI, F. VALA-VIAUX, Ensaio de análise do processo seguido por alguns alunos a partir da seguinte representação inicial: "poderíamos acostumar os percevejos a comer vegetais", até a noção de regime alimentar (ligação entre estrutura e função), Documento interno INRP, 1983. Pesquisa realizada numa 5ª Série, Escola Mauriac, Evry, outubro de 1982.

FORMULAÇÕES	OBSERVAÇÕES
0 – "O percevejo d'água pode comer <u>qualquer coisa</u> , o que ele quer." "De um percevejo d'água a outro, o alimento pode ser diferente."	Representação inicial.
1 – "O percevejo come girinos, a gente viu, mas <u>podemos acostumá-lo a comer vegetais</u> ."	Integração de uma <u>idéia nova</u> sob forma de afirmação.
2 – "O percevejo come girinos, mas <u>podemos, talvez, acostumá-lo a comer vegetais</u> ."	A mesma idéia é relativizada, pois não se trata mais de uma <u>hipótese</u> .
3 – "Se o percevejo come sobretudo <u>presas</u> , é porque as prefere às plantas, assim como a gente prefere o bife com fritas aos legumes, mas a gente pode obrigá-lo."	Utilização do termo geral de presa. Tentativa de explicação por analogia com o homem.
4 – "Podemos tentar dar vegetais para o percevejo comer, mas devemos dar-lhe animais também: ele <u>precisa</u> ."	Surgimento da <u>noção de necessidade</u> .
5 – "O percevejo é muito <u>carnívoro</u> , se alimenta com <u>diferentes espécies de presas</u> , mas pode também, talvez, comer vegetais, por exemplo, se a gente o acostumar."	Conhecimentos mais <u>precisos</u> (carnívoro, diferentes espécies de presas) e esboço de noção de <u>especialização</u> ... sem poder ainda separar-se da idéia inicial.
6 – "O percevejo é <u>obrigado</u> a alimentar-se com presas."	<u>Eliminação da idéia parasita</u> ; noção de especialização.
7 – "Um animal não come qualquer coisa; ele tem um <u>regime alimentar</u> ."	<u>Generalização</u> à totalidade dos animais. Enunciado correspondendo a um <u>nível de formulação</u> .
8 – "O percevejo só pode alimentar-se com presas, <u>pois</u> é seu regime alimentar."	<u>Utilização</u> de um nível de formulação integrado para explicar um caso particular.
9 – "Se o percevejo só pode comer presas, é <u>por causa</u> da trompa que ele tem."	Idéia de adaptação: <u>relação entre estrutura e função</u> .
10 – "Os animais têm um regime alimentar que está em relação com suas necessidades e com a maneira com a qual são feitos."	<u>Generalização</u> da idéia anterior.

Se compararmos os patamares de integração acima com o que foi definido como sendo níveis de formulação, podem ser feitas três observações. É possível repertoriar nove patamares de integração antes de se chegar ao nível de formulação almejado (enunciado na frase nº 10). Um nível de formulação não é uma frase-tipo, escrita uma vez por todas, mas uma ou várias idéias que transparecem atrás de observações cuja forma pode variar. Cada patamar de integração não corresponde a um nível de formulação, pois não há obrigatoriamente passagem para uma definição mais global de um conceito. Essas diferentes afirmações evidenciam, entretanto, momentos de progressão ativa na construção do conhecimento, da qual tanto o formador como o aprendente podem tomar consciência.

Não se deve crer, porém, através do exemplo que acabamos de descrever, que a construção do saber se faz de maneira regular e linear. O caminho seguido está longe de ser simples. A título de exemplo, propomos acompanhar o processo de quatro crianças (membros pertencentes à classe anterior), nas quais tentamos identificar, no tempo, os diferentes patamares de integração anteriormente definidos. Para materializar essa evolução, reunimos a totalidade dos resultados sob forma de um gráfico:

REPRESENTAÇÃO SINTÉTICA DO PERCURSO DO PENSAMENTO
DAS 4 CRIANÇAS ENVOLVIDAS:



Quais os ensinamentos a serem tirados disso? Em primeiro lugar, parece difícil poder pensar que essa noção, aparentemente das mais simples, possa ser integrada com tanta dificuldade... E porém! Classicamente, ao escolherem algumas afirmações vindas de cada vez de uma criança, os ensinantes constroem, eles mesmos, as

ligações entre as diferentes idéias e, ao imporem sua estruturação, impedem muitos alunos de se apropriarem validamente de um saber. Rejeitando esse “passe de mágica”, nós quisemos, nesta pesquisa, acompanhar o processo das crianças, sem “curto-circuitá-lo” em demasia e recorrendo a uma ação pedagógica relativamente discreta, apoiada essencialmente na consolidação do “fio condutor” do caminho dos alunos, numa evidência de suas contradições e na proposição de algumas situações pedagógicas abertas.

Isso nos permitiu tomar consciência do percurso amiúde sinuoso com o qual cada aprendente integra uma noção. No caso das crianças observadas, vemos que cada uma seguiu seu próprio itinerário, construiu “pontes cognitivas” que lhe são pessoais, sem que isso, aliás, possa sempre ser evidenciado em detalhe. É mais do que evidente que nós nos fornecemos somente uma visão parcial da evolução de quatro crianças e também nos preocupamos com os resultados da totalidade dos alunos; estes, em sua maioria, têm oscilado entre os mesmos patamares de integração.

Pode-se pensar que esse procedimento faz “perder muito tempo” e que o professor deveria, em certos momentos, ter fornecido uma soma de elementos que permitissem uma aquisição mais rápida das noções envolvidas. É verdade que às vezes uma simples frase dita pelo ensinante basta para fazer mudar de opinião um grande número de alunos; nossa experiência, entretanto, tem-nos mostrado que isso era relativamente raro e só podia ocorrer quando os aprendentes estavam preparados para receber essa informação. A respeito do mesmo conceito, tivemos, várias vezes, em outras aulas, de intervir com uma certa rapidez para lembrar a existência da noção de regime alimentar e explicitá-la; assim, a informação dava um fim à discussão entre alunos, embora não pudesse ser considerada como adquirida, pois, muitas vezes, observamos que não era reinvestida. Ou seja, não era (ou ainda não) um conhecimento utilizável, o que não foi o caso no exemplo que estamos analisando.

Outra observação parece-nos importante: no gráfico, os processos de Sophie e Alexandre são representados, cada um, por 2 traçados que se juntam; apareceu-nos, com efeito, que, ao mesmo tempo em que se desenvolvia o raciocínio sobre a alimentação do percevejo d’água, estava sendo avançada uma idéia mais geral, ligada ao regime alimentar dos animais; o elo entre esses dois itinerários não se estabeleceu de imediato. Assim, o estudo das concepções permite tomar consciência do fato de que podem existir dois percursos que evoluem paralelamente e estão situados em níveis conceptuais diferentes; esses dois percursos podem não interferir, nem se juntarem nunca. Assim, uma criança poderá ser capaz de enunciar uma noção (aqui, a de regime alimentar) sem ter a capacidade de aplicá-la a um caso particular (aqui, a alimentação do percevejo d’água). Parece-nos essencial, quando se tem como objetivo a construção de um saber, encorajar esse tipo de aproximação. No caso que estamos estudando, os pontos de encontro das 2 curvas correspondem ao momento em que uma noção relativamente pontual parece ter-se integrado a uma noção mais geral, com o elemento pontual permitindo ao mesmo tempo consolidar a noção geral (= fase de estruturação).

Isso não deixa de lembrar o que Pierre Clément, Jean-Louis Serverin e Anne Luciani escreveram a respeito da ligação entre aparelho digestivo e aparelho excretor⁵: “Há uma superposição de várias representações que concernem a um objeto biológico. Não parecem interferir entre elas, como se estivessem dentro de gavetas e, a cada situação, correspondesse uma gaveta”. Essa reflexão refere-se a dois conceitos diferentes; por nosso lado, mostramos que podia ser assim também dentro de uma mesma noção.

Quanto ao trabalho relativo ao percevejo d'água, ele parece-nos ilustrar particularmente bem o fato de que as representações costumam ser tenazes; a maior dificuldade pedagógica reside, portanto, na descoberta de um equilíbrio entre a necessidade de fornecer tudo aos aprendentes e a de deixá-los descobrir tudo⁶.

O que poderíamos reter como essencial, através da análise desses diferentes trabalhos, é que a tomada em consideração dos “constructos” evita que os divulgadores enunciem inconscientemente um discurso totalmente defasado em relação à realidade dos aprendentes. Isso instiga também uma certa moderação quanto à soma dos conhecimentos que cada professor deve propor-se fazer adquirir, ao apontar para a complexidade do processo dos alunos e para o interesse de adotar um procedimento mais lento que esteja em relação com o processo de aprendizagem do público envolvido. Chega-se, nesse caso, a tomar consciência de que, quanto mais rápido se quer ir e quanto mais conhecimentos se quer acumular, menos eficiente se é. Em particular, isso é ainda mais facilmente detectável nas crianças em situação de relativo fracasso escolar, ou nos adultos colocados ante uma divulgação informal (filme de televisão ou museu).

⁵ P. CLEMENT, J.L. SERVERIN e A. LUCIANI, Les représentations en biologie et les objectifs de la pédagogie: digérer ou régurgiter? [As representações em Biologia e os objetivos da Pedagogia: digerir ou regurgitar?], *Actes des 5^{èmes} Journées Internationales sur l'Education scientifique*, Chamonix, fevereiro de 1983.

⁶ Esse assunto permitiu-nos também corroborar o fato de que, através de uma atividade aparentemente pontual, os alunos necessitaram utilizar um certo número de conceitos insuficientemente afinados. Nesse exemplo, apareceu-nos que a aura conceptual continha, entre outras noções, as de: – necessidades alimentares do organismo (por exemplo, as necessidades em energia e matéria de cada animal podem não se manifestar pela ingestão dos mesmos alimentos). – digestão e assimilação (por exemplo, um carnívoro que devora um herbívoro não come a erva armazenada no corpo de sua presa: a presa não está “cheia de erva”). – adaptação, em relação com a ligação estrutura-função (por exemplo, não se pode acostumar um animal a mudar radicalmente de alimento: um carnívoro não pode tornar-se um herbívoro). – comportamento inato, ligado ao conceito de espécie (por exemplo, um herbívoro não tenta comer carne “mas como ele não pode por causa de seus dentes, só come vegetais”, ou dois animais da mesma espécie não comem de maneira diferente “porque eles não têm o mesmo caráter”, ou até existe uma diferença entre um predador e um homem que, odiando seu inimigo, mata-o).

Pudemos perceber, ao longo dos capítulos precedentes, que a mecânica intelectual que permite a apropriação do saber científico não tem nada de simples e não gera resultados imediatos. Mostramos que a construção do conhecimento passa pela tomada em consideração das concepções dos aprendentes, que estas evoluem a partir de um questionamento, através de atividades de confrontação com as concepções dos outros e com os fatos. Essas atividades permitem formular problemas científicos, procurar elementos de resposta, analisar estes últimos, estabelecer assim novas relações entre as aquisições pontuais, e isso em ligação com as representações prévias. Vimos que esse fenômeno de estruturação não pode ser realizado sem destacar as concepções das situações que as geraram, e sem que haja uma atividade de remodelagem que permita não coisificar o conhecimento, ao mesmo tempo em que facilite a generalização. Insistimos também no fato de que a apropriação do saber só é efetiva através da evolução paralela de diferentes conceitos (a aura conceptual) e pela sua progressiva integração no processo de pensamento (patamares de integração), culminando com a elaboração de sucessivos níveis de formulação.

Assim, as limitações que regem o mecanismo de conceptualização aparecem tão numerosas que se entende melhor a confusão dos formadores e a solução de facilidade, escolhida por muitos, que consiste em querer dar diretamente um saber estabelecido. A tarefa pareceria impossível, portanto, se não pudesse ser utilizado um certo número de elementos facilitadores. Por um lado, é preciso levar em consideração o fato de que o pensamento humano funciona seguindo certas regras sobre as quais é possível apoiar-se e que estão à base das abordagens que preconizamos. Porém, existe também, um conjunto de ferramentas que o formador pode proporcionar ao aprendente para ajudá-lo este a vencer os obstáculos que se lhe apresentam no difícil caminho da conceptualização. Entre essas ajudas didáticas, dar-se-á uma atenção especial ao uso de modelos explicativos¹.

¹ Nesse contexto, embora ela não seja o elemento motor, mas sim uma simples ferramenta, deve ser dado um lugar particular à introdução de um formalismo restrito, suscetível de aplicação a um conjunto de situações previamente definidas. É indispensável desenvolver um processo de abstração no sentido próprio, isto é, implementar outras exigências de coerência e os meios a esse fim que estabeleçam relações entre os conceitos utilizados, e que coloquem estes últimos a um nível que os torne independentes das situações analisadas, ou seja, muito mais estáveis.

Esse aspecto constitui, na atual pesquisa didática, uma novidade que parece merecer um amplo desenvolvimento ulterior. Assim, tentaremos definir essas ferramentas chamadas de “modelos”, analisá-las e dar alguns exemplos comentados que mostram o possível interesse de sua utilização.

1. Definição e lugar dos modelos

Originalmente, um “modelo” correspondia a qualquer sistema figurativo que reproduzia a realidade sob uma forma esquematizada, tornando-a mais compreensível. Essa realidade, com efeito, não é nem transparente nem diretamente acessível; é preciso decodificá-la, conservando apenas os elementos e relações que nos parecem pertinentes para cada assunto tratado. Um modelo é portanto uma construção, uma estrutura que pode ser utilizada como referência, uma imagem analógica que permite materializar uma idéia ou um conceito, tornados, assim, diretamente assimiláveis.

Sendo assim, um modelo é produzido para ser posto em correspondência com um conjunto de situações, isto é, com um certo número de objetos sobre os quais podem ser operadas determinadas transformações (demonstração, raciocínio ou processos experimentais). Deve poder, pois, simbolizar um conjunto de fatos, através de uma estrutura explicativa geral que, a seguir, pode ser novamente confrontada com a realidade para ver se continua pertinente; se as variações teóricas do modelo corresponderem aos resultados experimentais, diremos que esse modelo pode representar e explicar a situação considerada.

Um modelo, porém, nunca deve apenas aclarar um conjunto de elementos, deve também permitir previsões. Será tanto mais pertinente se puder funcionar nas situações mais diversas e autorizar previsões avançadas.

Um modelo científico apresenta-se, pois, como uma espécie de sistema experimental “*in vitro*”. Não há dúvida de que corresponde palavra por palavra à realidade, mas trata-se de um empobrecimento que pode ser manipulado, sobre o qual se pode raciocinar, pois só foi conservado um aspecto do problema, aquele que se escolheu tratar. Assim é com os modelos que tomam em conta a massa e a aceleração num móbil em movimento, mas que eludem o empuxo arquimediano e os atritos. É também o caso da nutrição vegetal que, abordada com crianças pequenas, só leva em consideração os fenômenos de absorção das substâncias do solo; isso poderá ser completado por uma posterior integração da clorofila, da energia luminosa e do dióxido de carbono, deixando de lado, ao mesmo tempo, o fotoperiodismo, a sinergia com outras plantas...²

² As situações que pertencem à realidade sempre são complexas e extremamente ricas; haverá abordagem do real por sucessivas aproximações. Assim, apesar do possível paralelismo entre realidade e modelo, existem, entre ambos, profundas diferenças que, cedo ou tarde, geram divergências e a rejeição do modelo em favor de outro mais elaborado. Devem-se essas diferenças ao fato de que a precisão experimental torna-se melhor, que o campo de utilização do modelo se estende, ou que a realidade é abordada através de outra problemática.

Para seu desenvolvimento, a ciência contemporânea produz cada vez mais modelos. Alguns, como os do ADN ou do átomo de Bohr, têm um campo muito amplo de validade e predição; outros, como os de elemento químico, anticorpo ou cromossomo, têm um campo mais restrito de funcionamento, ainda que sua eficácia seja igualmente real. Todos correspondem, entretanto, a construções transitórias, comportando um conjunto de elementos em interação dinâmica e apresentando propriedades de autonomia, coerência e pertinência³.

Obviamente, a educação precisa, hoje, introduzir muito cedo modelos que correspondam às concepções científicas atuais. As pedagogias habituais levam-nas em conta ocasionalmente, pelo que devem ser elogiadas. Infelizmente, a maioria das tentativas que têm sido feitas, em particular com os modelos mais elaborados (átomo, ADN), têm sido fracassos retumbantes. As observações realizadas a esse respeito mostram que o modelo é, ora proposto com um nível de abstração que o torna incompreensível, ora depurado ao ponto de tornar-se simplista, isto é, inoperante para resolver os problemas ao alcance dos aprendentes. Às vezes, é até totalmente defasado em relação às questões que pretende tratar; por exemplo, J. de Rosnay propõe, para explicar as semelhanças dos seres vivos, um plano de fabricação apoiado sobre o ADN⁴:

(Bom dia! Eu sou Proteix, uma simples molécula de proteína. Serei seu guia durante esta viagem no infinitamente pequeno.)

— Bonjour! Je suis Proteix (une simple molécule de protéine). Je serai votre guide au cours de ce voyage dans l'infiniment petit.



Patience, je vous expliquerai plus loin ce que signifie A.D.N. Mais vous voyez déjà que ça fait A.N.!

(Paciência, explicarei-lhe mais adiante o que ADN quer dizer. Mas já podem ver que ácido nucleico dá ADN.)



Isso porque existe na natureza um plano de fabricação transmitido de geração em geração. Esse plano garante:

1. A reprodução de um organismo vivo.
2. O controle das funções vitais desse organismo.

Vocês já sabem que, claro, esse misterioso plano é o ADN, a longa molécula de ácido nucleico portadora dos caracteres hereditários e do qual tanto se fala há vários anos.

(O ADN é informação estocada à escala das moléculas, isto é, milionésimo de milímetro!)



L'ADN, c'est de l'information stockée à l'échelle des molécules, c'est-à-dire du millionième de millimètre!

Sem o ADN, os organismos vivos (micróbios, animais ou vegetais) não poderiam nem se perpetuar nem controlar, sem parar, os bilhões de reações químicas que fazem funcionar as células que servem para fabricar os produtos dos quais necessitam.

Os mecanismos com os quais são trocadas informações nas células vivas e entre as células vivas constituem a base das comunicações celulares, na falta das quais seria impossível qualquer vida.

³ Na maioria dos casos, e mais especialmente em Biologia, esses modelos têm originalmente uma imagem intuitiva próxima ao que é percebido. Muito rapidamente, porém, logo que um deles se torna pertinente, sua imagem transforma-se num simples esquema ou até, às vezes, não comporta mais senão uma linguagem codificada (equação matemática, programa de informática...).

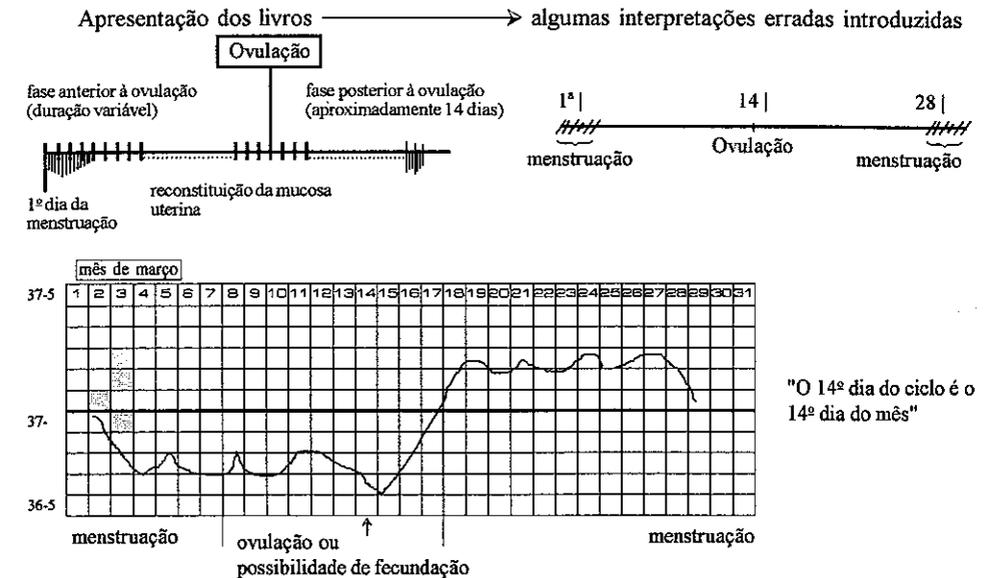
⁴ J. DE ROSNAY (Sciences et Avenir), estudo realizado no seminário de didática da Universidade Paris VII (C. SOUCHON, A. GIORDAN, G. RUMELHARD).

Vale dizer, para sermos um tanto provocativos, que se utiliza aqui um molho para esmagar uma avelã. Tanto mais assim que a avelã, em questão, é indigesta para o aprendente, pois não foram tomados em consideração nem suas perguntas, nem seu quadro de referência. Com efeito, o que significam para ele funções vitais, ácido nucléico, reações químicas que fazem funcionar as células, comunicação celular... É sem dúvida importante, hoje, introduzir o ADN – diríamos antes os modelos ADN – no ensino. Isso supõe, porém, uma reflexão prévia, pois não basta mostrá-lo em quadrinhos e acrescentar alguns pequenos personagens (coisas essas úteis, por certo), trata-se sobretudo de refletir sobre qual o tipo de perguntas que se quer responder e sobre os modelos compreensíveis para o aluno. Não há nenhuma evidência de que o mais pertinente seja o do ADN em estrutura helicoidal, segmentado em nucleotídeos; um estudo está em andamento a esse respeito; já revela todo um conjunto de dificuldades.

2. Modelos mal-adaptados

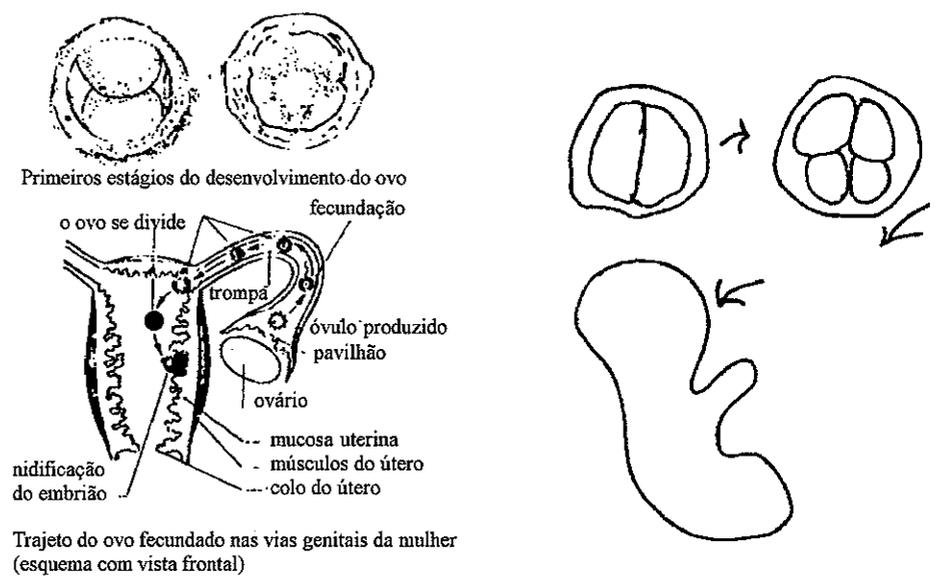
Ressaltamos amiúde as imprecisões dos aprendentes relativas a conhecimentos científicos mal-integrados; dissemos que isso se devia mais particularmente ao fato de que o saber não era construído. Numerosos erros, porém, são induzidos diretamente pelas ferramentas propostas pelos formadores; assim é com certos modelos mal adaptados. Tomemos o do ciclo menstrual da mulher, habitualmente encontrado tanto no ensino como na vulgarização científica. É automaticamente evocado para descrever as variações hormonais e as diversas etapas das da transformação do endométrio uterino, mas sobretudo para prever o período de fertilidade de uma mulher. Seu funcionamento e apresentação gráfica parecem muito simples. Ainda assim, como mostramos, na primeira parte deste livro, isso não impede enormes confusões por parte dos aprendentes; até diremos que cria essas confusões. Assim, são muitos os autores que representam o início do segundo ciclo após o primeiro, introduzindo assim as novas menstruações, com a consequência de induzir a idéia de que as regras enquadram o ciclo. Ocorre o mesmo com a concordância entre ciclo sexual e mês do ano, o que produz quíproquós, às vezes, divertidos⁵.

⁵ Vale acrescentar que a convenção, que consiste em considerar o primeiro dia das regras como sendo o primeiro dia do ciclo, raramente é explicitada como tal pelos professores. Esse postulado tanto parece natural que se esquece que não se trata de uma evidência, ainda que o aprendente seja do sexo feminino.

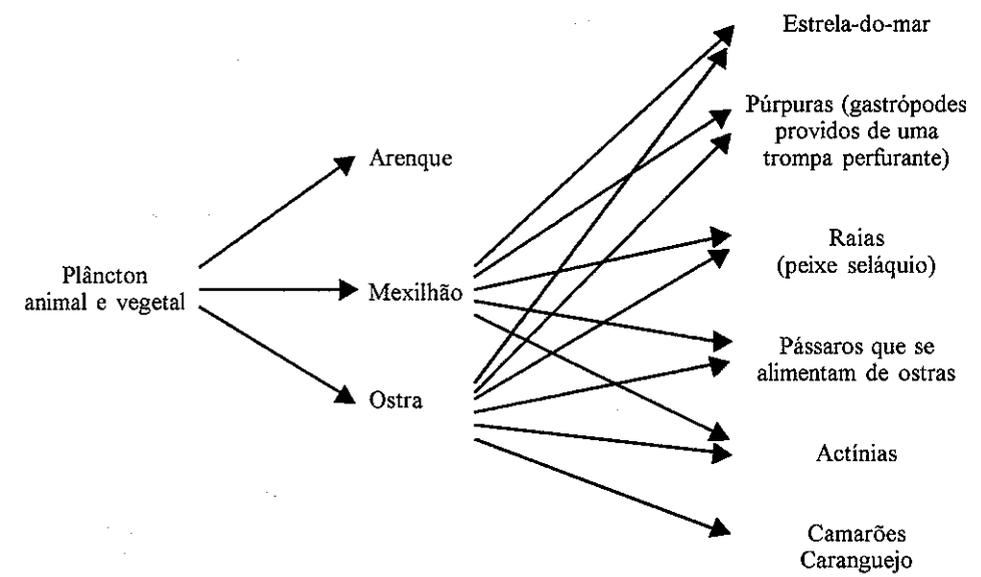


Poder-se-ia dizer que o mesmo ocorre com o modelo da “pequena semente”, muito simples e amplamente difundido, com o qual procura-se explicar o que é a fecundação. Mesmo nesse caso, as consequências são diferentes. Trata-se, num certo sentido, de comparar um fenômeno desconhecido pela criança com uma imagem que lhe é familiar. Embora tenha a vantagem de poder abordar esse fenômeno no plano biológico, essa analogia, nem por isso, deixa de reforçar uma idéia estabelecida (desde a Antiguidade!) que consiste em pensar que o pai é quem fornece o germe; ou seja ele sozinho está na origem da criança, ao menos no plano genético, com a mãe sendo uma espécie de incubadora, de bolsa nutriz na qual a “semente” vai desenvolver-se. A utilização desse modelo introduz um obstáculo de difícil superação ulterior, em particular, ao abordar-se a genética mendeliana, isto é, quando se procurar integrar a idéia de que os dois pais desempenham um papel genético equivalente.

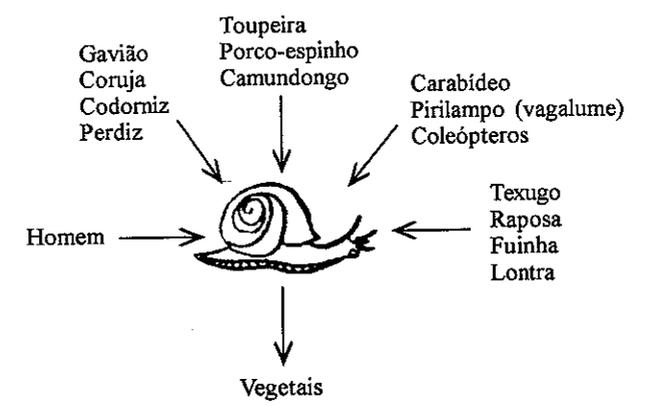
Em outro plano, a utilização de esquemas, empregados em suas diversas componentes (simplificações, codificação, escala de grandezas) também cria dificuldades, quando se trata de integrar um modelo. Assim para estudar o desenvolvimento do embrião humano, apresenta-se amiúde os primeiros estágios da divisão celular; como o feto muda rapidamente de dimensões, porém, a continuação da história é proposta com uma mudança de escala. Esse fenômeno é interpretado então por muitos aprendentes como uma transformação da parede do óvulo que se modela para formar a futura criança. Às vezes, as primeiras divisões celulares são memorizadas, porém são propostas apenas para fins anedóticos, pois os alunos não têm à sua disposição conhecimentos suficientes sobre a teoria celular e a embriogenia.



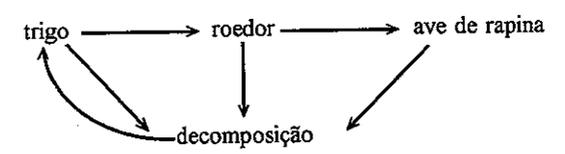
Ocasionalmente, por fim, as idéias ou codificações que presidem a elaboração de diferentes modelos não são idênticas; chegam até a ser contraditórias. Consideremos, por exemplo, como, num manual de sétima série do primeiro Grau, são representados dois esquemas relativos à alimentação⁶.



⁶ J. ESCALIER, Biologie, classe de 5^{ème}, Nathan, páginas 97 e 109.



No primeiro caso, as setas significam "come", noutro, correspondem a "ser comido por". Isso parece simples, porém constitui um obstáculo à abordagem do conceito de ciclo da matéria. Assim, quando um aluno integrou a idéia de que a seta se dirige até o alimento, temos observado que era difícil fazer um modelo funcionar na direção oposta... e isso é, entretanto, indispensável. Com efeito, o primeiro exemplo cria um obstáculo que aparecerá mais tarde, quando for necessário entender as transferências de matéria ou energia, pois esse modelo não se lê na direção do fluxo. Para abordar os diferentes ciclos, será necessário inverter o sentido das setas. Um aprendente, colocado ante o problema da origem e renovação do alimento das plantas verdes só poderá utilizar o segundo modelo que é o único a culminar com o fenômeno de decomposição. Exemplo:



Outros problemas estão ligados a esse exemplo, aliás; voltaremos a isso mais adiante neste capítulo. Guardemos presente, pois, que parece importante, já nos primeiros estudos, utilizar um modelo que não arrisca criar obstáculos suplementares, ainda que estes se revelem mais tarde.

Para resumir as dificuldades encontradas a esse respeito, pode-se dizer portanto que, na maioria das vezes, os modelos didáticos utilizados na pedagogia clássica são mal adaptados, e isso em vários planos. Em primeiro lugar, no nível dos aprendentes, são freqüentemente quer ilegíveis, quer ininteligíveis devido à sua estrutura ou o grafismo que lhes é associado. Correspondem a ferramentas de desempenho alto demais em relação às perguntas que os alunos se fazem ou aos problemas que se deseja ver resolver. Estão defasados, também, em relação ao saber científico

que pretendem transmitir, pois sua apresentação dogmática retira-lhes qualquer valor instrumental, pois as imagens utilizadas escondem a mensagem a ser transmitida, quando somente as propriedades aparentes são conservadas, como pode ser visto no que tange aos modelos celular ou atômico⁷.

Assim nos vemos frente a duas atitudes. Por um lado, pode-se pensar que a utilização de modelos vai ajudar o aprendente a progredir no caminho do saber científico; por outro, vê-se que esses mesmos modelos, atualmente utilizados, geram freqüentemente mais dificuldades do que permitem uma real ajuda. Hoje, portanto, devemos sair desse impasse, pressentido, aliás, por muitos professores e divulgadores, por demais conscientes da insuficiência das explicações limitadas que fornecem e do efeito de "ceticismo relativizante" produzido na mente dos alunos que traduzem o "isso que lhes digo é simples demais, mais tarde vocês saberão", do professor, por "o que lhes digo é falso, não passa de uma grosseira aproximação"⁸.

3. Condições de elaboração dos modelos didáticos

Nosso projeto, pois, não é o de valorizar e abonar todos os modelos atuais da ciência. Não há dúvida de que, sendo válidos, está fora de cogitação refutá-los, mas raramente é esse o caso. O que procuramos é analisar como seria possível, através de imagens espaciais, representações gráficas ou simulações, apoiar o pensamento que está sendo construído nos aprendentes. A introdução de um modelo num processo de elaboração conceptual nos leva, em primeiro lugar, a refletir sobre o conteúdo da mensagem que se deseja fazer passar; isso obriga a que sejam levadas em consideração as concepções dos aprendentes. Por outro lado, é preciso analisar as formas que o modelo pode assumir, para que seja realmente compreensível, ou seja, sempre em relação com as representações dos alunos⁹.

Assim, por motivos pragmáticos, um modelo didático corresponderá a um instrumento de pensamento que o professor (ou melhor, o aprendente) poderá produzir e fazer funcionar, com o fim de tornar significativo um fenômeno ou uma situação, bem como fazer previsões. Por isso, nossa proposição consiste em considerar "modelos" muito mais simples (ou seja, esse termo terá uma conotação diferente da que lhe é atribuída em Física), talvez mais limitados, porém diretamente utilizáveis. Devem ajudar o aprendente a avançar alguns passos, ao fornecer-lhe um suporte sobre o qual apoiar-se e que lhe permita reunir um conjunto de saberes parciais. Constituem, portanto, espécies de patamares que geram uma "pausa integradora", antes do conceito continuar a afinar-se.

⁷ O átomo reduz-se à imagem tornada famosa por uma marca de sabão em pó.

⁸ G. RUMELHARD, Pesquisa INRP-CNRS, Documento interno, 1979.

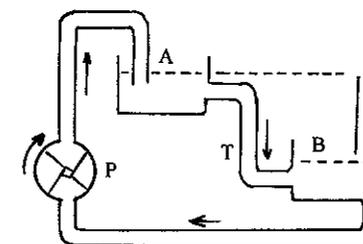
⁹ Não conhecemos, na literatura internacional, trabalhos significativos nessa área. Uma única publicação aborda esse problema sob o ângulo didático; trata-se do N° 5 das *Actes des Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*, Paris, 1984. Quanto às abordagens mais práticas, citaremos VIOVY e MARTINAND, *L'élément chimique* [O elemento químico], LIRESP, Documento interno.

Na prática, os modelos poderão ser representados por uma analogia materializada com a ajuda de um esquema mais ou menos dinâmico. Assim, num primeiro momento, será possível comparar o intestino delgado a um filtro¹⁰, se o que nos interessar for a assimilação dos alimentos. Um modelo, entretanto, pode ser construído simplesmente a partir de um simbolismo; se, por exemplo, o objetivo for o de fornecer um primeiro nível de formulação para o elemento químico, no qual se quer ressaltar sua invariância e seu possível rearranjo no espaço durante uma reação química¹¹, a estrutura proposta poderá ser a seguinte:



Em outros casos, será pertinente utilizar modelos mais elaborados, tais como uma equação, uma fórmula ou ainda um programa de informática.

Mas, de qualquer maneira, para construir um modelo didático, parece dificilmente concebível fazer a economia de um estudo epistemológico; é importante, com efeito, fornecer ao aprendente um sistema que não crie nem reforce uma concepção por demais pregnante ou, ao menos, por demais bloqueadora para ele. Assim, a respeito da corrente elétrica, a analogia hidráulica que consiste em considerar um escoamento de água desde um reservatório superior até um reservatório inferior, ao assimilar as diferenças de altura com as diferenças de potencial, induz a idéia de uma pilha "reservatório de corrente" que deixa escoar essa corrente de vazão constante¹².



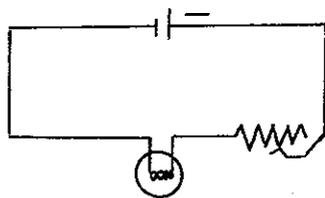
Ela não considera a necessidade de ter um circuito fechado em regime constante, ainda que, conforme mostra a figura acima, certos autores completam o sistema com uma bomba que garante o enchimento do tanque superior; esse fechamento do circuito não se apresenta como necessário para a circulação da corrente e não garante a imagem de um movimento de conjunto das cargas. Ademais, essa analogia apre-

¹⁰ ...e não a uma peneira, caso esse muito freqüente nas obras de vulgarização, o que gera o problema dos "buracos que não são vistos no intestino"...que, portanto, não existem.

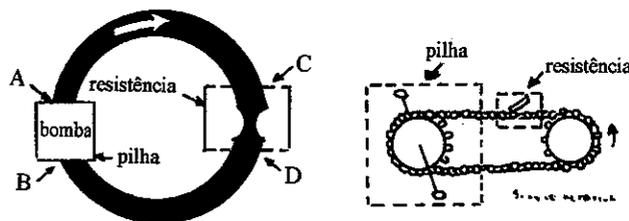
¹¹ A esse respeito, ver mais particularmente VIOVY e MARTINAND, *La notion d'élément chimique* (A noção de elemento químico), ib.

¹² J. DE CLOSSET, *Tese de 3º Ciclo*, Universidade Paris VII, Paris (não publicada).

senta o potencial como uma função de pontos, onde o potencial gravífico é unicamente função do local de sua medição, enquanto o potencial num ponto de um circuito elétrico, e até a diferença de potencial nos limites de um elemento de um circuito, são função da totalidade dos elementos desse mesmo circuito. Materializa-se isso pelo fato de que um aluno, colocado ante a montagem representada no esquema, poderá afirmar que, quando a resistência muda de valor e se conhece a direção da corrente, a intensidade luminosa da lâmpada varia quando a resistência é colocada antes da lâmpada e permanece igual, quando essa mesma resistência é colocada após a lâmpada.

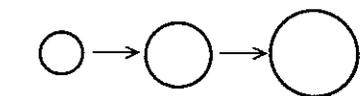
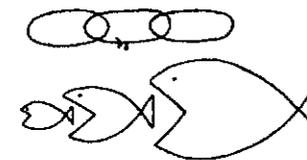


Mostra, por fim, que o perigo está no caráter local dessas analogias, e reforça a tendência ao raciocínio seqüencial. Em seu lugar, Closset propõe dois outros modelos, igualmente compreensíveis para os aprendentes e aparentemente mais adequados em relação à mensagem visada.



O primeiro ainda corresponde a uma analogia hidráulica, porém apresentada horizontalmente e em circuito fechado. O segundo, mais simples, utiliza uma corrente de bicicleta; o objeto em atrito com a corrente gera um atrito que desacelera globalmente o movimento de todos os elos. Esse modelo permite explicar que o circuito elétrico não é senão “a correia de transmissão” da energia.

A título ilustrativo, pode-se mostrar como é possível elaborar um modelo, levando-se em consideração as concepções prévias dos aprendentes e os obstáculos que certos erros possam induzir. Voltemos ao caso da noção de cadeia alimentar. Classicamente, ela é representada de diversas maneiras:



(As setas significam “é comido por”)

Vejamos quais as concepções induzidas por esses modelos:

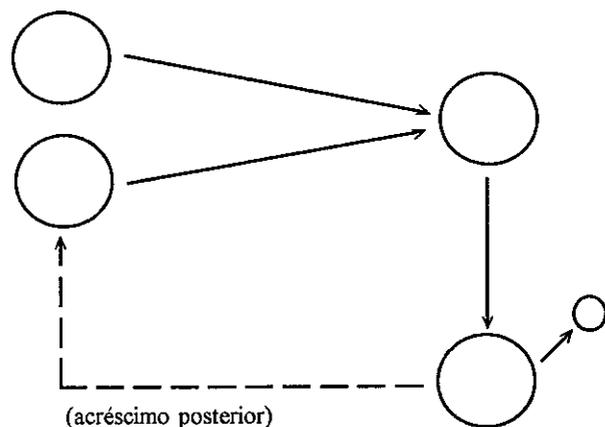
- Um animal só se alimenta com uma única espécie de presa.
- É sempre o maior que come o menor, e o animal colocado no fim da cadeia é o mais forte, o mais poderoso.
- Um ser vivo é comido em sua totalidade.
- A transferência de matéria (ou energia) só pode ser linear.
- Um animal não pode ser, ao mesmo tempo, consumidor de primeira e segunda ordem, ele é “catalogado”.
- A nutrição concerne a um indivíduo e não é abordada no nível da espécie (o que torna mais delicadas as abordagens ecológicas).

Será possível apresentar um modelo que procure evitar um certo número dessas armadilhas?

Parece inútil, em primeiro lugar, representar os seres vivos que se sucedem na cadeia como sendo cada vez maiores. Aliás, por que não incluir nela um animal parasita? Não é necessário precisar que o último ser vivo leva o nome de superpredador (para lutar contra a idéia de poder, de dominação e para não ressaltar o fato de que a cadeia se termina). Da mesma maneira, não há utilidade em representar animais cada vez maiores, sendo que poderia bastar seu nome, colocado em cada círculo. Não dar às setas o significado de “é comido por” mas antes o de “toma seu alimento de” não tende mais a fazer acreditar que a presa seja sempre devorada inteiramente. Não limitar-se, a cada vez, a um único ser vivo num determinado nível, mas sim, às vezes, representar dois ou três diferentes permite mostrar a possível diversidade do regime alimentar e prepara para as noções de espécie e rede. Não representar as diversas etapas numa linha, mas sim incluir um ângulo, por exemplo, quebra a imagem de uma acumulação da matéria no último elo¹³ e permite também trazer posteriormente a idéia da existência de ciclo dos elementos.

Eis uma proposição que segue essa direção:

¹³ Observemos que isso está em contradição com o modelo piramidal que quer ressaltar o fato de que a maior quantidade de matéria viva está situada no primeiro nível.



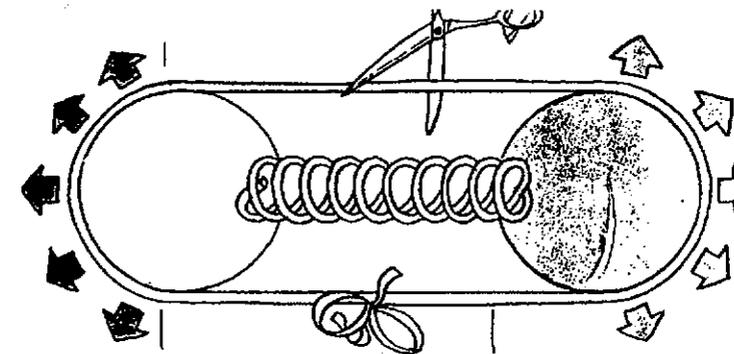
Afinal de contas, essa materialização é levemente mais complexa em sua apresentação gráfica, porém ela não apela para nenhuma noção suplementar. Aliás, poderíamos perguntar-nos se ensinar o que é uma cadeia alimentar é fundamental; esse conhecimento não tem nada de importante em si. Acreditamos sobretudo que constitui um bom material para abordar um certo número de conceitos ecológicos (meio de vida, relações biológicas, população, equilíbrios...).

Esse modelo está longe de ser perfeito; precisa ser testado de maneira mais completa quanto ao seu real impacto sobre a construção progressiva do saber científico. Será necessário ver mais particularmente se ele permite uma melhor integração posterior de certas noções ao mesmo tempo em que carrega um número menor de bloqueios.

4. Utilização dos modelos didáticos

Nossa proposição é, pois, a de fornecer ou fazer construir pelos aprendentes, em vez de certos produtos habituais mais ou menos "lifoilizados" que apresentam mais inconvenientes do que benefícios, modelos didáticos que correspondem a uma aproximação suficiente e que são operatórios em relação a um campo dado de problemas, isso em ligação com as concepções prévias dos aprendentes.

Leva-nos essa proposição rumo à produção de modelos apartados do saber atual, ainda que este constitua o objetivo a ser alcançado a longo prazo. Não será fácil fazer aceitar essa idéia, mais especialmente em certos meios científicos autorizados. Em nome da modernidade, esses últimos terão dificuldades para considerar a possibilidade de não ensinar os saberes mais atuais. Infelizmente, a observação diária tem-nos ensinado que isso traz a consequência de levar a enunciados inacessíveis, gerando até efeitos contrários aos esperados, pois contribuem para mitificar a ciência.



Uma imagem da ligação entre dois átomos de uma molécula... A liberação da energia de ligação pode ser desencadeada por um pequeníssimo aporte exterior de energia (Souchon, Deleage).

Ao contrário, um certo número de trabalhos em andamento mostra que nossa hipótese, menos abrupta, apoiada em desvios e sucessivas aproximações, pode constituir uma benéfica alternativa para a atual incúria. Podemos até acrescentar que, na verdade, os partidários da ortodoxia científica praticam-na em muitas áreas. Será que a relatividade, mesmo restrita, é ensinada diretamente? Não se continua ensinando a física newtoniana? Não seria o caso oposto considerado como uma heresia, sendo que essa física é grandemente útil quando se abordam as questões clássicas? Da mesma maneira, não se usa ainda como referência o "raio de luz" na Óptica, enquanto, há mais de 150 anos, Fresnel introduziu o modelo ondulatório? Vários manuais, aliás, utilizam implicitamente essas duas abordagens contraditórias, que alternam conforme os pontos tratados, em particular a respeito da emissão de luz e sua passagem através de uma greta; ora essa passagem faz-se diretamente, ora provoca interferências!... isso, num intervalo de dez páginas, sem que alguma frase seja escrita sobre essa manifesta contradição. Abandonamos, em Biologia, a genética mendeliana, quando se sabe hoje que os caracteres podem estar ligados entre si¹⁴ e os resultados obtidos podem derivar de uma interação entre os genes? Esse modelo, por exemplo, só é suficiente quando se trata de transmissão qualitativa dos caracteres. Ainda assim, ele é invariavelmente proposto em todos os manuais das séries do 2º Grau, e ele cria, hoje, um verdadeiro obstáculo para os estudantes que continuam estudos de genética das populações ou que trabalham sobre a transmissão dos caracteres nas criações de animais.

Certos modelos, no entanto, podem desempenhar um papel favorecedor. Para ilustrarmos nossa hipótese, gostaríamos de propor um exemplo particular, concebido

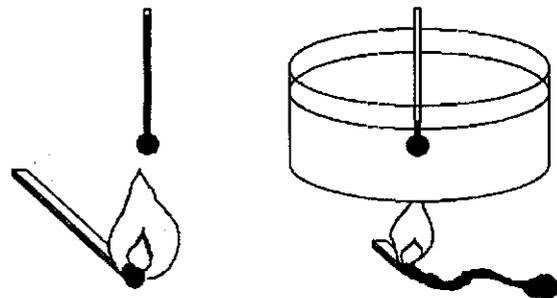
¹⁴ A esse respeito, não se continua indicando, em muitos livros do ensino secundário, que um gene = uma enzima, o que constitui um nível de formulação amplamente ultrapassado na pesquisa.?

do no LDES para crianças com 12-14 anos de idade¹⁵. Escolhemo-lo pois afasta-se das apresentações atuais. Isso nos levará também a precisar o que nossos trabalhos nos permitem deduzir em relação às condições de introdução dos modelos didáticos.

Abordaremos os problemas de calor e temperatura. Antes de analisarmos a modelização, algumas precisões parecem-nos importantes.

Na vida diária, utilizamos indiferentemente as palavras “calor” e “temperatura”. Por exemplo, falamos de grandes calores nos dias em que as temperaturas estão muito altas e de grandes frios nos dias em que estão muito baixas. Chegamos então a pensar que a presença de uma grande quantidade de calor é obrigatoriamente acompanhada por uma temperatura alta, e que uma pequena quantidade de calor não permite obter uma temperatura semelhante. Mas, será sempre esse o caso?

Não, é claro. Por exemplo, ao acendermos um fósforo, a temperatura da chama é muito alta. Mas é pequena a quantidade do calor liberado durante a combustão do fósforo. Com efeito, nem é o suficiente para aquecer alguns decilitros de água fria!



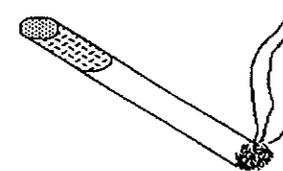
Podemos entrever, através desse exemplo, que “temperatura alta” não é sinônimo de “grande quantidade de calor”, e que uma temperatura muito alta até pode ser associada a uma pequena quantidade de calor!

Eis agora um exemplo no qual uma quantidade muito grande de calor não conduz a uma temperatura muito alta: a água dos lagos, dos mares e dos oceanos recebe, no verão, uma enorme quantidade de calor e se aquece. Mas, apesar desse importante aporte de calor, a temperatura da água eleva-se pouco e permanece bastante baixa. “Temperatura baixa” não é, portanto, sinônimo de “pequena quantidade de calor”.

A partir disso é que se pode tentar conceber um modelo explicativo.

Para entender-se melhor a diferença entre calor e temperatura, podemos pedir a ajuda de uma analogia: consideremos um recipiente cilíndrico que contém um líquido. Desenhemos-lo esquematicamente. O nível do líquido representará a temperatura, e a quantidade de líquido materializará o calor. O tamanho do recipiente, ou mais exatamente sua seção, corresponde então a uma capacidade térmica.

¹⁵ Estudo realizado sob a direção de B. Vuilleumier, LDES, no quadro da pesquisa FNRS (N° 1540082).



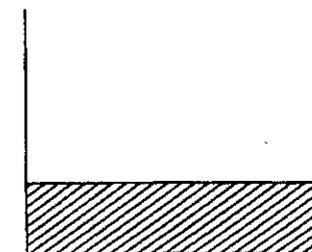
A brasa de um cigarro contém uma pequena quantidade de calor, mas sua temperatura é alta.



O recipiente contém uma pequena quantidade de líquido, mas o nível é alto.

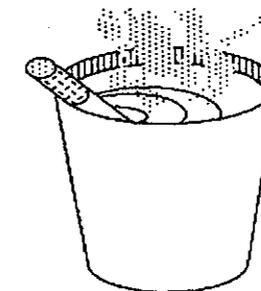


Uma bebida quente contém mais calor do que a brasa de um cigarro, porém sua temperatura é menor.

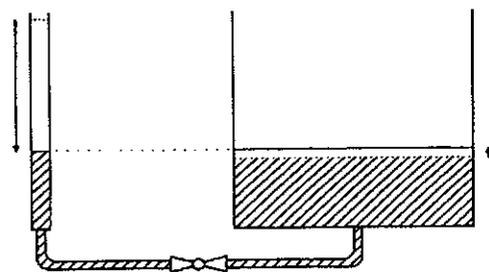


Esse recipiente contém mais líquido do que o anterior, porém o nível é mais baixo.

O que ocorre quando se mergulha o cigarro no copo d’água quente? Apaga-se, é claro! Mas a quantidade de calor cedido pela brasa será maior, igual ou menor do que a recebida pela água? E o que podemos dizer da temperatura da brasa durante essa operação? Será que varia mais, da mesma maneira, ou menos do que a da água?



A analogia proposta acima vai ajudar-nos a encontrar as respostas corretas. Mergulhar o cigarro na água equivale a estabelecer uma comunicação entre os dois recipientes abrindo-se a torneira:



A quantidade de líquido que sai do pequeno recipiente é igual então à que penetra no grande: a quantidade de calor cedido pela brasa é portanto igual à recebida pela água quente. Ao contrário, vê-se que o nível varia mais no pequeno recipiente do que no grande: a temperatura da brasa, conseqüentemente, varia mais do que a da água.

SITUAÇÃO TÉRMICA:	ANALOGIA HIDRÁULICA:
Mergulha-se um fósforo aceso num copo de água fria.	Abrindo-se a torneira, põem-se os dois recipientes em comunicação.
A brasa não perde mais calor do que a água ganha.	A quantidade de líquido que deixa o pequeno vaso é igual à que penetra no grande.
A temperatura da brasa varia mais do que a da água.	O nível do líquido varia mais no pequeno recipiente do que no grande.

Essa analogia permite entender que um objeto com temperatura alta pode conter menos calor do que um objeto com uma temperatura baixa, bem como chama a atenção sobre o noção de capacidade térmica. Ilustra o fato de que a transferência de calor não se efetua necessariamente do objeto que contém o maior calor para o que contém menos calor, mas sim que são as temperaturas que determinam a direção da troca. Trata-se de um modelo no qual o calor é concebido como um fluido e não traz referência à agitação molecular. Vale lembrar que, com uma representação desse tipo, é que Carnot pôde estabelecer seus princípios de termodinâmica. Muitos testes têm mostrado que ela é operante o suficiente para tudo quanto concerne à calorimetria clássica¹⁶.

¹⁶ A analogia permanece perfeitamente rigorosa enquanto não for envolvida nenhuma outra forma de energia que não o calor. O modelo parece portanto particularmente bem adaptado à calorimetria.

É verdade que esse modelo ainda não está perfeito; os alunos costumam confundir as quantidades de água utilizadas de maneira analógica e as que fazem parte do enunciado do problema de calorimetria que eles tentam resolver; permite aos aprendentes, entretanto, darem alguns passos, desde que se tenha pensado na maneira de propô-lo.

Com efeito, a introdução de um modelo não pode ser direta; isso requer que os alunos já tenham uma certa experiência das questões ligadas às trocas de calor e que sintam a necessidade de explicá-las, sendo que, aliás, o modelo pode ser um meio de encorajar essa integração. Parece necessário também que os aprendentes tenham a possibilidade de interagir com ele, propondo uma análise de situações diversas, tais como o aquecimento de uma sala por uma massa d'água, a elevação da temperatura de um líquido quando se mergulha a ponta de um fósforo aceso, ou outras analogias como as representadas no quadro abaixo (ver as próximas páginas).

O código a lembrar será, pois, o seguinte:

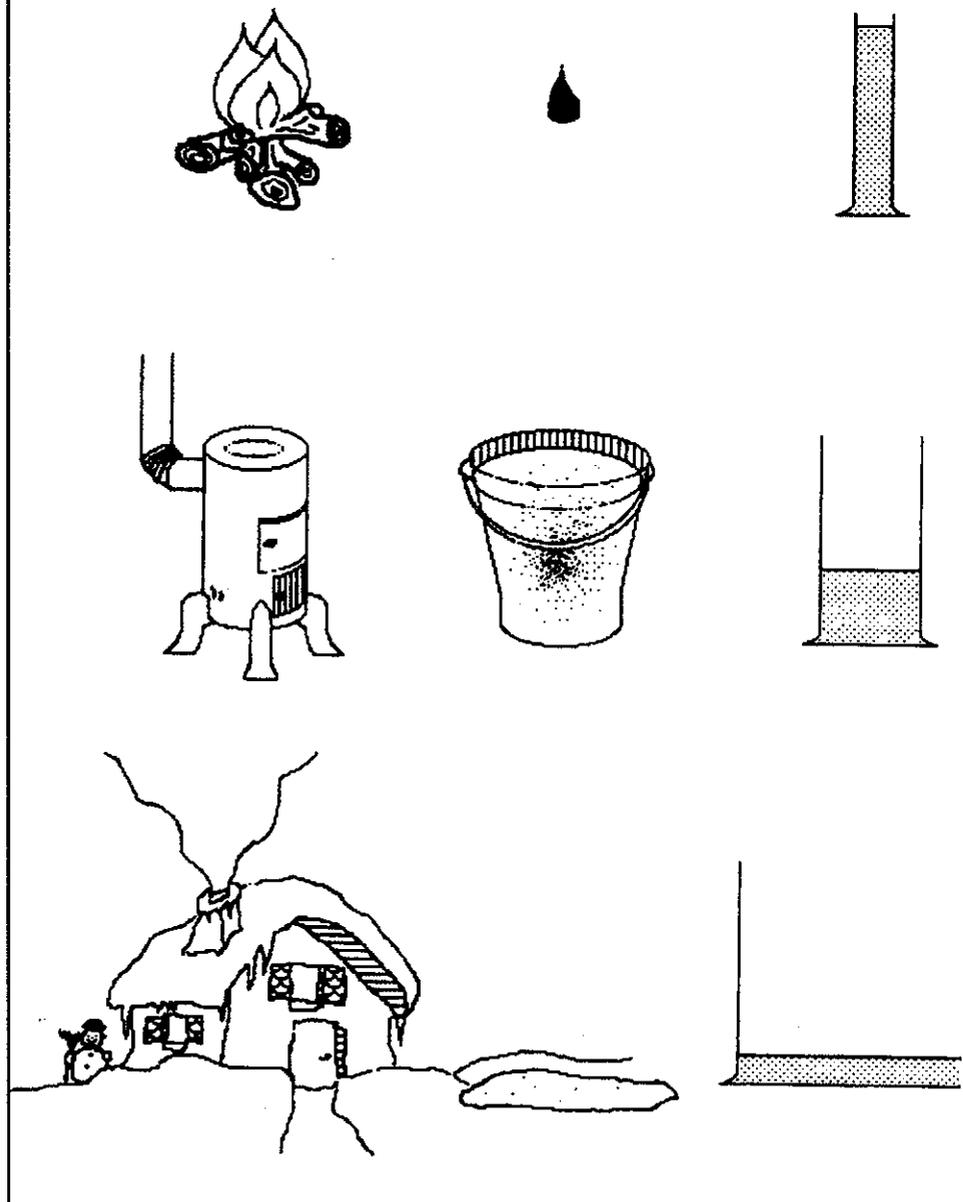
CALOR	=	QUANTIDADE DE TINTA	ou	QUANTIDADE DE LÍQUIDO
TEMPERATURA	=	COLORAÇÃO	ou	NÍVEL

Nesse nível, vê-se novamente o mesmo estatuto heurístico que o evocado para a confrontação. Ele supõe portanto que o modelo não seja largado todo pronto, mas, sim, que possa ser discutido. Assim, o aluno acostumar-se-á a fazê-lo funcionar, tomará consciência de seus campos de aplicação e validade, mas também poderá retificá-lo continuamente, por interação, integrando nele as conseqüências das novas experiências realizadas.

Outro estudo, o da corrente elétrica, pode ilustrar essa progressão por retificação. As primeiras manipulações fazem nascer, na criança, um modelo no qual duas espécies de corrente saem da pilha e encontram-se na lâmpada para gerar uma faísca, o que explica o fato de que se acende. Será, por exemplo, a introdução de um motor no circuito e a mudança da direção de rotação inicialmente constante no momento da inversão da pilha que não tornará mais crível esse modelo das "correntes antagonistas". Enquanto esse questionamento não ocorrer, enquanto a criança não tiver sentido pessoalmente a necessidade de retificar sua concepção inicial, parece vão propor-lhe uma estrutura de tipo hidráulico (como a de Closset), sob pena de recair na colagem de conhecimentos e, pois, deixar o modelo inicial existir de maneira subjacente.

Por fim, os modelos devem ser apresentados como ferramentas aproximativas e não como realidades intangíveis. Em caso algum devem substituir-se a essas, para que possam, a qualquer momento, ser melhorados ou rejeitados, para serem substituídos por outros, mais operantes. Isso supõe que, nas atividades didáticas, vividas no e fora do ensino, se aproveite todas as oportunidades para ressaltar o fato de que os modelos (assim como os conceitos) não correspondem à realidade, mas sim são

SITUAÇÃO TÉRMICA E CORRESPONDENTES ANALÓGICOS



SITUAÇÃO TÉRMICA E CORRESPONDENTES ANALÓGICOS

No fogo, o calor está concentrado. Portanto, a temperatura é mais alta.

A gota de tinta está muito escura.

Quando uma certa quantidade de líquido ocupa um recipiente de seção baixa, o nível é mais alto.

Na sala aquecida, o calor está mais diluído do que no fogo. Portanto, a temperatura é mais baixa.

A gota de tinta dilui-se no balde. A coloração fica mais fraca.

Aumentando a seção do recipiente, baixa o nível.

Fora da casa, o calor está muito diluído. Portanto, a temperatura é muito baixa.

Despejando-se o balde no lago, a coloração da água torna-se imperceptível.

Quanto maior a seção do recipiente, mais baixo o nível.

Da primeira até a terceira experiência

O calor liberado por um fogo não desaparece, mas sim se "dilui" e a temperatura baixa.

A quantidade de tinta não muda. A tinta se dilui e a intensidade da coloração diminui.

A quantidade de líquido não muda. Apenas o nível baixa.

Essas analogias ilustram a diferença de natureza entre grandezas intensivas (temperatura, coloração, nível) e grandezas extensivas (calor, quantidades de tinta ou líquido). Dão conta de uma maneira ilustrada dos fenômenos de trocas térmicas. Permitem abordar as noções de direção de transferência, equilíbrio e capacidade térmica e irreversibilidade. Sugerem a idéia de um princípio de conservação, aplicável ao campo térmico.

instrumentos de explicação e previsão produzidos com o intuito de uma melhor compreensão dos fenômenos ou problemas enfrentados. Nesse processo, o papel do professor consistirá em implementar as necessárias situações de interação e em fazer construir, ou trazer, as ferramentas mais adequadas. Estas, porém, não podem ser previstas de antemão; dependem das reações dos aprendentes, ante as situações vividas; essas informações fornecerão ao professor as indicações mais favoráveis para otimizar sua escolha.