
O PLANEJAMENTO DO ENSINO A PARTIR DE UM MODELO PARA MUDANÇAS COGNITIVAS: UM EXEMPLO NA FÍSICA TÉRMICA⁺*

Orlando Aguiar Jr.

Faculdade de Educação – UFMG

João Filocre

Educativa – Instituto de Pesquisas Educacionais

Belo Horizonte – MG

Resumo

Apresentamos brevemente os pressupostos de um modelo de ensino, objetivando fornecer elementos de análise para o planejamento didático. Para examinar as contribuições desse modelo, serão analisados dados de um curso introdutório à Física Térmica, junto a uma turma de 8ª série do Ensino Fundamental. Apresentamos e justificamos algumas das escolhas na abordagem dos conteúdos do ensino e das atividades realizadas ao longo do curso. Identificamos, ainda, os “patamares pedagógicos” no desenvolvimento dos conceitos. Destacamos a dinâmica do agir-refletir-agir que caracteriza o fazer docente, reafirmando nossa convicção quanto à importância do plano de ensino e seu caráter aberto e flexível.

Palavras-chave: *Planejamento do ensino, construtivismo, Física Térmica (ensino).*

Abstract

This paper presents briefly a teaching model to provide analytical categories to the teaching design, based on a constructivist approach about knowledge and learning. To examine this model, we follow a introductory course of thermal physics, developed from its theoretical frame-

⁺ Teaching design based on a teaching model for cognitive changes: an example from thermal physics

^{*} *Recebido: outubro de 2001.*

Aceito: novembro de 2002.

work, for a 9th grade class. The teaching approach, goals, contents and learning activities are justified, as well as the “pedagogical steps”, levels of conceptual development during the process. The dynamics of action-reflection-action is emphasised as a central aspect of teaching, asserting our conviction about the importance of teaching design and its open and flexible character.

Keywords: *Teaching design, constructivism, thermal physics (teaching).*

I. Pressupostos e objetivos

Este trabalho faz parte de um conjunto de investigações destinadas a examinar as possibilidades de um modelo de ensino construtivista, orientado para a promoção de mudanças cognitivas, sendo um instrumento de apoio ao planejamento didático. Partimos de uma conceituação de modelos de ensino, segundo a qual:

“Falar de um modelo não é falar de um método: enquanto um método pedagógico descreve um tipo de prática, uma maneira de trabalhar na sala de aula, o modelo constitui uma construção teórica que dá sentido, em profundidade, a uma diversidade de práticas.” (BAZAN, p. 3)

Neste trabalho, o modelo é entendido como modo de ajustar ações práticas no campo do trabalho pedagógico, a partir de uma determinada abordagem teórica. A diferença entre modelos científicos e modelos pedagógicos é, também, destacada por Drouin:

“Enquanto o modelo científico busca, acima de tudo, explicar um fragmento da realidade, permitindo prever seu comportamento, o modelo pedagógico tem como finalidade essencial elaborar uma representação que possa acompanhar e esclarecer a ação. Mais que um modelo para explicar, é um modelo para agir, mais exatamente, na compreensão de como se age.” (p. 203)

O modelo de ensino não tem pretensões de deduzir, a partir de princípios teóricos, as ações docentes a serem conduzidas pela prática educativa nem, tampouco, de produzir soluções únicas e definitivas de como ensinar este ou aquele conteúdo. Em lugar disso, estabelece alguns parâmetros que permitem identificar problemas, refletir sobre o que está sendo feito e proposto, qualificar as intervenções didáticas, orientar a produção de instrumentos de avaliação condizentes, em um ciclo constante de reflexões e ações.

Organizar um currículo ou um planejamento didático segundo a lógica da aprendizagem, e não de acordo com a lógica das noções que compõem a estrutura da disciplina já constituída, implica em considerar o conhecimento como processo, enquanto verdade provisória (AGUIAR JR., 2002). Estabelecer um modelo construtivista de ensino significa, portanto, estabelecer níveis de conhecimento que se pretendem promover, e atividades e mediações que se julgam necessárias para promover o entendimento dos estudantes em uma dada direção.

O essencial nessa abordagem é a idéia de que conhecemos e estruturamos o real em seus movimentos, em suas provisoriidades. Isso implica uma recursividade no currículo, em que as noções não são apenas revisitadas em diferentes contextos e em diferentes momentos do processo educacional, mas apreendidas em diferentes níveis de compreensão. O conhecimento não se dá por meros acréscimos de elementos a serem simplesmente compostos entre si, mas em totalidades engendradas em suas superações (PIAGET, 1976).

O modelo de ensino que examinamos¹ recorre à epistemologia genética para extrair dela elementos que auxiliem o professor na identificação desses níveis de estruturação e, assim, orientar suas escolhas didáticas. Piaget e Garcia (1984) identificam na psicogênese e na história das ciências mecanismos comuns na construção de conhecimentos. O elemento que os autores consideram de maior importância nesse estudo comparativo consiste nas tríades dialéticas que denominam etapas INTRA, INTER e TRANS, quando se trata de precisar o sentido das superações e as características de cada nível ou estado de conhecimento em relação àqueles que o precedem e o sucedem.

No modelo de ensino, cada um desses níveis de conhecimento –intra, inter e trans– comporta a tríade, ou seja, cada etapa repete, nos seus próprios elementos, o processo total. Isso significa que, em qualquer nível que se considere, teremos presentes: 1. elementos que descrevem os observáveis (intra); 2. elementos que permitem ao sujeito configurar um funcionamento ao sistema (inter); e 3. uma “teoria”² que o torne capaz de explicá-lo (trans).

Neste trabalho, situaremos a perspectiva de um planejamento de um curso de introdução à Física Térmica junto à turmas de 8^a série do Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG. Iniciaremos definindo e justificando algumas de nossas

¹ A fundamentação teórica do modelo de ensino para mudanças cognitivas, ao qual nos referimos ao longo deste artigo, encontra-se bem desenvolvida em outros trabalhos (AGUIAR JR. e FILOCRE, 1999; AGUIAR JR., 2001).

² As “teorias” a que nos referimos incluem as “teorias em ação” (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975), que orientam a atividade da criança, e as “teorias implícitas” (Pozo e Gómez Crespo, 1998) que o sujeito utiliza sem que sinta a necessidade de refletir sobre elas, de forma a explicitar seus argumentos ou precisar o sentido de cada uma das noções que utiliza para interpretar o mundo à sua volta.

escolhas para, em seguida, apresentar os níveis de formulação, ou patamares pedagógicos, dos conteúdos de ensino. Apresentamos, então, algumas das atividades do curso e o modo como foram concebidas e desenvolvidas. Os ajustes e a reflexão sobre a ação, exemplificadas ao final do artigo, são elementos que, ao nosso ver, constituem este modo de conceber o ensino e seu planejamento.

II. Justificando escolhas

A produção da unidade temática (conjunto de atividades e textos de apoio ao curso) foi concebida por uma equipe interdisciplinar nos marcos de movimentos de inovações curriculares na Rede Estadual de Ensino de MG e na Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG³ (LIMA et al. 1997). Este artigo refere-se à experiência de produção desse material e sua aplicação junto a uma turma de 8^a série do Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG, ao longo de 15 aulas de 90 minutos cada, durante os meses de julho e agosto de 1999. No ano anterior, havíamos realizado o mesmo trabalho em estudo piloto, procurando refinar nossos instrumentos de análise e avaliação. A professora Selma, integrante da equipe, além de possuir uma larga e diversificada experiência no ensino de ciências, é pesquisadora, tendo realizado mestrado e estando, na ocasião, cursando Doutorado em Educação. Assumindo uma postura investigativa diante de sua própria prática, caracteriza-se por uma grande habilidade didática e capacidade de estabelecer diálogos com estudantes do Ensino Fundamental. Formada em Biologia, revela-se uma professora de ciências, preocupada com os processos formativos dos estudantes, nos quais se incluem aspectos de conhecimento químico e físico, tomados como objeto de estudo. Um dos autores do artigo, na condição de pesquisador, atuou como professor auxiliar, assumindo muitas vezes a condução de atividades com a turma, em outras, ajudando os grupos.

Ao nosso ver, a característica central dos materiais de ensino produzidos nesses movimentos de reformulação curricular –na Rede Estadual de Ensino e no Centro Pedagógico da UFMG– consistiu em configurar um currículo temático, ou seja, organizado por módulos ou “unidades temáticas” que se desenvolvem no contexto de indagações a respeito de temas fortemente vinculados à experiência humana. A decisão de organizar o currículo em temas decorreu do fato de que a principal debilidade do processo de escolarização em ciências tem sido o distanciamento entre os conteúdos escolares e a vida contemporânea, seus problemas e desafios. Além disso, a proposta pretendia configurar uma identidade ao ensino de ciências, procurando compor elementos de conhecimento químico, físico e biológico, de modo mais integrado e relacional.

³ Compunham a equipe os professores Orlando Aguiar Jr. e Helder de Figueiredo e Paula (Física), Selma A. Moura Braga e Carmen de Caro Martins (Biologia), Maria Emília Caixeta C. Lima e Nilma Soares da Silva (Química).

A decisão por abordar os conteúdos da Física Térmica através do tema “Regulação Térmica nos Seres Vivos” resultou das seguintes razões:

1. Na perspectiva dos estudantes é um tema considerado relevante, problemático e significativo;

2. Para além dos interesses específicos da fisiologia animal, trata da questão central dos processos de interação de organismos e ambiente, elemento fundamental para a iniciação em ciências;

3. De um ponto de vista físico, solicita tratamento de conceitos termodinâmicos, desde os mais elementares e fundamentais –equilíbrio térmico, calor e temperatura– até seus princípios gerais –conservação e degradação da energia;

4. As sensações térmicas são tomadas como objeto de conhecimento, o que favorece a superação dos *modos de pensar do senso comum* (CAFAGNE, 1996), ou seja, a tendência em considerar os conceitos térmicos a partir das sensações que os materiais provocam ao tato;

5. Ao se destacarem situações em que o equilíbrio térmico não ocorre, pode-se investigar quais são as condições e mecanismos que conduzem a esse equilíbrio.

Quanto ao nível de abordagem dos conteúdos da Física Térmica, ao longo da unidade, procuramos configurar um projeto de ensino compatível com as características dos estudantes das últimas séries do Ensino Fundamental –13 a 15 anos de idade–, suas necessidades, interesses e potencialidades. Pretendíamos, com isso, romper com a lógica de elaboração de propostas de ensino para um nível de escolaridade mediante a simplificação e redução dos conteúdos do nível seguinte, e assim, sucessivamente. Isso nos conduziu a considerar os fundamentos da Física Térmica, em uma abordagem fenomenológica, capaz de descrever e explicar um conjunto de processos através de um pequeno número de conceitos e princípios. Assim, o nível de profundidade no tratamento dos conceitos deveria ser suficiente para responder às necessidades dos estudantes naquele momento e, constituir, ao mesmo tempo, um patamar provisório para a sua superação em estudos posteriores. Finalmente, o modelo de ensino em que nos apoiamos conduz a identificar a heurística positiva das concepções dos estudantes, de modo a construir níveis intermediários de entendimento que tenham características comuns às dos modelos científicos, embora difiram deles em outros aspectos.

A partir da análise epistemológica dos conteúdos da Física Térmica, da leitura que fazíamos dos modos de pensar dos estudantes nesse campo da experiência física e das características peculiares do contexto das regulações térmicas nos organismos, foram tomadas certas decisões quanto ao tratamento dos fenômenos térmicos, o que resultou em um planejamento de ensino com as seguintes características:

1. A superação da lógica de atributos como quente/frio, por exemplo, na interpretação dos fenômenos térmicos, como meta básica do curso;

2. Tratamento exclusivamente macroscópico, centrado na história básica da termodinâmica, mediante a construção concomitante dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico (ARNOLD & MILLAR, 1994; 1996);

3. Abordagem qualitativa e geral, evitando-se a apresentação de equações e resoluções de problemas numéricos;

4. “Convivência amistosa” com a idéia de calor “contido” nos corpos, entendida como uma etapa intermediária na construção de conceitos científicos;

5. Consideração do calor como forma de energia, isto é, podendo ser obtido através de outras fontes de energia e transformado em outras manifestações de energia;

6. Consideração do balanço energético nos organismos, evidenciando-se as transferências de energia como calor dissipado ao ambiente e o calor produzido pela respiração celular.

O primeiro e o segundo desses pontos são intimamente relacionados. A superação do par antitético –frio/calor– é condição básica para a entrada no mundo da termodinâmica. Entretanto, como demonstram os estudos de CAFAGNE (1996) e de TEIXEIRA (1992), tais interpretações subsistem ao ensino de física no nível médio. Parece razoável que o tratamento explícito desse obstáculo ontológico, em uma introdução aos fenômenos térmicos no Ensino Fundamental, possa contribuir para o entendimento de como a ciência funciona e consolidar seus fundamentos. O contexto das regulações térmicas nos seres vivos, ao destacar as interações “organismo/meio” como objeto de estudo, propicia condições para favorecer a efetivação dessa meta de aprendizagem.

Parece, ainda, necessário justificar a decisão de não lidar com questões relativas à natureza do calor, o que significa restringir o tratamento da unidade a uma abordagem macroscópica. Com isso, pretendíamos evitar a superposição das dificuldades próprias à construção dos conceitos elementares da termodinâmica a outros obstáculos relativos à sua interpretação a partir de modelos acerca da estrutura da matéria. No desenvolvimento curricular, pensamos em lidar com o tema das regulações térmicas nos seres vivos antes que fossem desenvolvidos, em separado, estudos destinados à construção de modelos de um mundo inacessível à observação direta. De um ponto de vista teórico, não há qualquer problema em fazê-lo, uma vez que a termodinâmica pode ser quase inteiramente desenvolvida e justificada a partir de uma abordagem geral, com variáveis macroscópicas. Essa decisão foi continuamente reavaliada a partir do desempenho dos estudantes e das explicações que consideravam satisfatórias; para alguns alunos, o enfoque pareceu “pouco teórico” e insuficiente, para outros, que mostravam dificuldades para estabelecer relações entre os conteúdos da unidade, a abordagem em função das variáveis macroscópicas mostrou-se adequada.⁴

⁴ Em minha tese de doutorado (AGUIAR JR., 2001), da qual este estudo faz parte, examinamos quatro “casos de aprendizagem”, conduzindo reflexões sobre o ensino a partir da análise dos processos de aprendizagem dos estudantes.

III. Patamares pedagógicos no desenvolvimento dos conteúdos da unidade

Os patamares pedagógicos relativos ao desenvolvimento de conceitos na unidade temática foram sendo identificados à medida que eram produzidos textos e atividades e, posteriormente, ao refletir sobre sua primeira versão. O caráter dinâmico e a alternância entre as intenções curriculares manifestas e suas possíveis concretizações parecem ser elementos constituintes do ato de planejar o ensino. Uma vez que boa parte das ações empreendidas não são conscientes ou explicitamente orientadas por teorias, no momento de criação raramente conseguimos racionalizar os elementos envolvidos em sua concepção. Com frequência, baseamos nossas formulações em um conjunto de intuições, ou agimos orientados por saberes tácitos e um sentido difuso de que “assim dá certo”. De qualquer modo, pode-se refletir sobre aquilo que foi feito, na expectativa de retificar erros e reconhecer lacunas e contradições, dando encadeamento e organização ao material e ao planejamento do ensino.

Ao propor a identificação de patamares que apontem para uma progressão nas aprendizagens dos estudantes, o modelo de ensino configura-se como um modo de examinar a adequação das estratégias didáticas às características epistemológicas de seus conteúdos e aos processos de aprendizagem que pretende promover. A estruturação de patamares para o ensino dos conteúdos da unidade em estudo permite a preocupação com uma ordenação dos problemas e obstáculos a serem enfrentados, de modo a considerá-los de maneira progressiva, comportando elementos de caráter intra, inter e trans-objetais. O quadro apresentado na Fig. 1 sintetiza, de maneira geral, os elementos que o compõem. Passamos a descrevê-los a seguir, destacando as características gerais que definem cada um desses níveis como modos distintos de conceber e interpretar fenômenos.

O primeiro nível refere-se a uma concepção não-científica ou pré-científica acerca dos fenômenos térmicos, largamente reportadas pela pesquisa e confirmadas em nossos estudos preliminares. Suas principais características são:

1. Dicotomia entre qualidades opostas do calor, quente ou frio, e suas manifestações nos diferentes materiais;

NÍVEIS	ETAPAS		
	INTRA	INTER	TRANS
	Características	Relações/ Transformações	Explicações
I. CALOR E FRIO COMO ENTIDADES OPOSTAS	<ul style="list-style-type: none"> • Calor e frio como atributos dicotômicos; • Temperatura como atributo dos materiais; • Análise centrada em objetos, sem mecanismos de interação; • Suor como manifestação de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolamento térmico – separação mecânica do contato com o ambiente; • Causalidade linear e efeitos unilaterais; • Mecanismo de “troca de calor-frio/quente”; • Indiferenciação entre calor e temperatura; • Mudanças observáveis no corpo quando sentimos frio ou calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • As sensações que temos correspondem às propriedades dos objetos; • Pensamento dominado por pseudonecessidades; • Mecanismos “on-off” para resfriamento espontâneo (o calor se esvai em contato com o ambiente); • Para manter temperatura própria é preciso contar com calor interno.
II TRANSFERÊNCIAS DE CALOR E VARIÇÕES DE TEMPERATURA	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: grau de calor de um corpo; • Aspecto central: diferença de temperatura entre corpos; • Transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas; • Diferenciação entre temperatura corporal e temperatura da pele; Condutores e isolantes térmicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assimilação recíproca do quente e frio; • Sentido único dos fluxos de calor; • Ar, sangue e suor: agentes de transporte de calor; • Equilíbrio térmico como estado após interações; • Fatores que interferem na quantidade de calor transferido. <p>Primeiras diferenciações entre calor e temperatura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transferimos energia para o ambiente na forma de calor; • Energia / calor como agente causal: aquilo que faz acontecer; • Sensações térmicas como resultado de taxas de transferências de calor entre organismo/meio. Causalidade linear múltipla.
III SISTEMAS INTEGRADOS – CONSERVAÇÃO E REGULAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Anexos da pele e sistemas de regulação/ controle; <p>Duplo papel do sangue nos processos de regulação térmica: transporte de substâncias para produção de energia; transporte de calor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciação entre energia utilizada pelos organismos e energia dissipada na forma de calor; • Integração dos sistemas respiratório, digestivo, circulatório e nervoso nas trocas de energia organismo – meio. <p>Fatores intervenientes na quantidade de calor produzido e transferido ao meio e mecanismos de regulação.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Balanço energético nos organismos; • Equilíbrio estático e dinâmico: por que a temperatura corporal se mantém constante. <p>Sistemas de regulação: ação do organismo para manutenção do balanço energético (sistema de compensações completo).</p>

Fig. 1- Patamares pedagógicos do curso “Regulação térmica dos Seres Vivos”.

2. Descrição dos fenômenos em termos de estados “naturais” dos objetos, segundo suas propriedades intrínsecas; 3. não consideração das fronteiras

2. Descrição dos fenômenos em termos de estados “naturais” dos objetos, segundo suas propriedades intrínsecas;

3. Não consideração das fronteiras entre objetos, nem tampouco de um conjunto de objetos em interação;

4. Seleção das variáveis relevantes a partir das sensações ao tato;

5. Sesconsideração do próprio corpo enquanto objeto em interação com outros objetos em sua vizinhança.

O segundo patamar indica progressos consideráveis em relação ao precedente, à medida que desloca o olhar de *objetos*, suas qualidades e atributos, em direção a *eventos*, ou seja, na busca de regularidades nas transformações. Assim, as interações térmicas passam a constituir um observável e as formulações acerca do calor mais aceitáveis de um ponto de vista científico. Entretanto, é longo e penoso o caminho da diferenciação entre calor e temperatura, da mesma forma em que subsistem ambigüidades em relação ao conceito de calor, ao nosso ver inevitáveis, que passa a incluir as noções de energia armazenada (energia interna) e quantidade de energia em trânsito (calor). As construções desse nível, predominantemente inter-objetal, consistem em identificar e nomear entidades relevantes nas interações e comportamentos dos objetos, com tentativas de unificar explicações relativas a processos (transferências de calor) e estados (equilíbrio térmico). Por outro lado, as principais fragilidades desse modo de conceber os fenômenos térmicos referem-se a:

1. Causalidade linear, em que os eventos são segmentados e ordenados com uma causa procedendo a um dado efeito e, assim, sucessivamente;

2. Conhecimento circunstanciado e local, com pequena capacidade de generalização, por não considerar de modo simultâneo e coordenado o conjunto de fatores em jogo.

O terceiro patamar pedagógico realiza uma transição inicial ao pensamento sistêmico, próprio da ciência termodinâmica. Segundo LEMEIGMAN & WEIL-BARAI (1994), a superação de representações centradas em objetos e eventos, em direção a representações integradas em sistemas, solicitam um conjunto de operações mentais, a saber:

1. Construção de um sistema, ou seja, um grupamento de objetos que passam a ser concebidos como um conjunto, descrito a partir de um certo número de variáveis (integrando processos e estados);

2. Segmentação temporal dos eventos (estados do sistema);

3. Hierarquização dos fatores, destacando aqueles mais relevantes para a primeira solução aproximada do problema.

Podemos acrescentar que o pensamento sistêmico envolve consciência das relações entre a parte e o todo, consideração das fronteiras e, sobretudo, uma idealização e modelização do real. Essas categorias podem ser compreendidas a partir

da construção de estruturas conceituais mais amplas, que subordinam as leis e regularidades locais a princípios de caráter mais geral. Assim, a consideração de aspectos relativos ao balanço energético nos organismos, com a suposição tácita acerca da conservação da energia, permite novas coordenações e a compreensão de um conjunto de processos reguladores envolvendo, simultaneamente, transferências de calor e liberação de energia através do metabolismo.

Podemos compreender o que envolve tais procedimentos se considerarmos a conservação da energia. De fato, esse princípio exige a consideração de sistemas isolados, ou seja, sistemas que se modificam sem que exerçam ou sofram a ação de agentes externos. Rigorosamente, nenhum sistema desse tipo pode ser encontrado na natureza, pois tudo se encontra em constante interação com corpos materiais do universo. Assim, o princípio de conservação de energia não pode ser rigorosamente aplicado a qualquer sistema; sua verificação e aplicação deriva de uma ação no sentido de tornar o efeito externo tão pequeno quanto possível em comparação com as mudanças de energia de partes do sistema considerado.

Os três patamares da unidade comportam, em seu conjunto, um caminho progressivo, mas provisório, de desenvolvimento conceitual em direção às formulações científicas. Eles indicam um percurso marcado pela descentração progressiva e pela objetivação dos fenômenos e processos investigados, à medida que se deslocam de noções intuitivamente relacionadas às sensações e percepções imediatas (fase intra), para leis que expressam regularidades nas transformações (fase inter), atingindo o estatuto de princípios gerais (fase trans), tomados como necessários em um sistema coordenado de compensações.

As instâncias práticas por meio das quais foram concebidas e realizadas as atividades e intervenções docentes para efetivar esses progressos serão descritas na próxima seção.

IV. Algumas atividades realizadas e seus propósitos

Na realização do curso “Regulações térmicas nos seres vivos”, a dinâmica em sala de aula consistiu em trabalhos desenvolvidos em pequenos grupos, nos quais os estudantes se debruçavam na interpretação de um fenômeno, mediante uma atividade prática seguida por discussões com toda a turma, em que a professora procurava construir, com a participação deles, sínteses do que havia sido proposto. As atividades eram precedidas por uma discussão preliminar, cujo intuito era contextualizar o problema no marco das investigações da unidade. Muitas vezes, combinávamos atividades e leituras de pequenos textos; em outras, ainda, as atividades experimentais eram conduzidas pela professora com toda a classe. Essas formas de organização do trabalho pedagógico tinham por objetivo propiciar ambientes de ensino e aprendizagem que favorecessem o envolvimento e a atividade dos estudantes, por meio do seu engajamento na realização de tarefas, mediadas pela linguagem utilizada com seus pares e sua professora. A intenção foi a de configurar a sala de aula de modo que os

estudantes constituíssem uma comunidade de aprendizes, submetendo ao crivo do exame crítico e racional as crenças implícitas e pessoais de cada um, assim como as idéias e os conceitos científicos introduzidos pelo ensino.

Tal modo de conceber e organizar situações de ensino e aprendizagem vinha sendo vivenciado por esse grupo há mais de um ano, já que fazia parte dos repertórios de ensino da professora. Apesar disso, em muitos momentos, alguns estudantes manifestavam resistência, solicitando a apresentação da matéria no quadro negro e a exposição de seu conteúdo, sem que fosse necessário seu envolvimento pessoal na construção dos conceitos.

As primeiras atividades do curso tiveram por objetivo a manifestação das concepções dos estudantes. Com base nelas, passamos a exigir-lhes uma argumentação em termos de coerência interna e de consistência com uma classe de fenômenos a serem examinados. Além do pré-teste, tiveram esse caráter as primeiras atividades, em que procuramos evidenciar a insuficiência do tato para designar o estado térmico dos materiais e investigar a estrutura e o funcionamento de termômetros baseados na dilatação da coluna do líquido. Outra situação apresentada consistiu em prever e comparar o comportamento de uma pedra de gelo e de uma batata quente enroladas em flanela em relação a outros objetos idênticos em contato com o ambiente.

A crença no “frio” como uma qualidade especial do calor – por oposição ao “calor quente” – constitui um forte obstáculo ontológico a todo o desenvolvimento conceitual da Física Térmica. Uma das estratégias utilizadas para seu enfrentamento consistiu em propor como questão a possibilidade de um copo com gelo fundente comportar-se como uma “fonte de calor”. A atividade solicitava a preparação de um sistema “mais frio” que o gelo fundente –gelo picado com sal– e a observação do que acontece com um termômetro ao ser deslocado do copo contendo “gelo+sal” para o copo com gelo fundente. Essa estratégia de “conflito cognitivo” foi desenvolvida no bojo de um marco discursivo em que participavam os estudantes, trabalhando em pequenos grupos, e a professora, provocando e alimentando as discussões. A relatividade daquilo que se considera frio ou quente foi, então, enfatizada, com a finalidade de se examinar criticamente a idéia de se considerar frio e quente como qualidades opostas do calor.

Após realizado o trabalho em pequenos grupos, procurávamos, sempre, promover discussões com toda a classe, às quais a professora, partindo das conclusões dos grupos, acrescentava novas informações, pontos de vista e questões. Desse modo, mesclavam-se argumentos relativos ao experimento realizado e outras decorrentes da busca de consistência e parcimônia nas explicações científicas, bem como de sua adequação ao marco dos fenômenos que desejávamos interpretar. Nesse momento, a professora procurou destacar a simultaneidade do aquecimento do corpo que estava, inicialmente, em temperatura mais baixa e o resfriamento daquele que estava a uma temperatura mais alta, a fim de explicar esses dois efeitos simultâneos a partir de um único e mesmo processo de transferência de energia. Uma vez identificada a grande resistência dos estudantes em abandonar a crença na existência do frio como entidade

ontológica, decidimos retomar esse ponto, ao longo de toda a unidade, referindo-nos à experiência do gelo fundente/gelo com sal como protótipo de uma necessária relativização daquilo que, habitualmente, se considera frio ou quente.

Quanto ao conceito de equilíbrio térmico, buscamos estabelecê-lo progressivamente, partindo de noções intuitivas dos estudantes, que a aceitam em algumas circunstâncias. Mesmo que limitada a certos “casos” típicos, a igualdade final de temperatura entre corpos em contato não é totalmente estranha aos estudantes; o problema reside na falta de generalidade de sua proposição, seja por contrapor-se às sensações térmicas, seja por não se considerarem as condições especiais em que ocorre o fenômeno –sistemas isolados. Por essa via, a formulação dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico acompanhavam três atividades em níveis progressivos de afastamento dos esquemas de partida. Na primeira delas, os alunos eram solicitados a prever, observar e explicar as variações de temperatura de duas porções iguais de água –a 20 e 50° C, respectivamente– colocadas em um aquário com uma placa metálica separando os dois ambientes. Essa atividade foi conduzida buscando-se não apenas enfatizar o estado final do sistema, mas também descrever, em detalhes, o processo que conduz a esse estado. O problema das fronteiras –Qual deve ser a temperatura da placa metálica?– e a consideração das transferências de calor para o ambiente foram aspectos destacados na interpretação do experimento.

Uma segunda situação envolvendo equilíbrio térmico consistiu em examinar a generalidade da igualdade final de temperaturas quando diferentes materiais eram colocados em um mesmo ambiente. Para isso, utilizamos blocos de madeira e alumínio com um orifício para permitir a medida de sua temperatura. Essa situação colocou-nos frente a outro obstáculo, de natureza epistemológica, que envolve a superação da idéia de que as sensações correspondem diretamente às propriedades dos objetos, desconhecendo-se a importância e a natureza dos processos de interação organismo/meio que as determinam. Para isso, não bastava constatar o dado empírico fornecido pelas leituras do termômetro, sendo preciso, além disso, fornecer indícios e subsídios para uma nova síntese, que permitisse explicar as diferentes sensações ao tato por objetos em equilíbrio térmico. A orientação que demos, então, à realização da atividade foi a de acompanhar o processo de aquecimento do interior de cada uma das peças utilizadas, quando as seguramos com as mãos, de modo que a atenção dos estudantes fosse deslocada para o processo gradual de aquecimento dos materiais, quando tocados. Desse modo, pretendíamos tornar observáveis os fluxos de energia que resultam da interação da mão que segura cada um dos blocos com os materiais de que são formados.

Finalmente, a noção de equilíbrio térmico envolve a consideração de situações em que isso não ocorre, o que comporta sua negação. Trata-se, nesse caso, de uma inversão nas relações entre o possível, o real e o necessário. Em lugar de constatar possibilidades diante daquilo que é verificado empiricamente no real, a ciência parte de uma situação idealizada –sistema isolado– para dela extrair conclusões de caráter necessário. Devemos notar que tal sistema corresponde, de modo aproximado, a

algumas situações reais. Nesse caso, o princípio do equilíbrio térmico encontra sua generalidade na direção do processo (o sistema tende ao equilíbrio térmico) e não ao seu estado final, indicado pela igualdade de temperaturas. Trata-se, assim, de se encontrar uma explicação comum à ocorrência e à não-ocorrência do equilíbrio térmico, a partir das noções de sistema, vizinhança e fluxos de energia. Partimos, então, de uma situação na qual os estudantes reconheciam a inexistência de equilíbrio térmico em determinadas situações e o previam corretamente em outras. O problema, portanto, estava em coordenar esses dois observáveis em uma estrutura de conjunto, o que envolve, naturalmente, raciocínios do tipo trans-objetal.

A estratégia utilizada para superar tais obstáculos consistiu em utilizar uma analogia com um sistema mais simples: um ferro de solda, enquanto ligado à tomada, tem, também, sua temperatura sempre superior à da vizinhança⁵. Ao se colocar o ferro de solda aquecido em um pequeno béquer contendo água, os estudantes foram solicitados a prever, comparativamente, as temperaturas do ferro e da água. Nesse caso, as medidas permitem uma transição entre a constatação da diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança e sua dedução a partir dos conceitos de calor e temperatura –se há transferência de calor do ferro de solda para a água, não pode haver igualdade de temperatura entre eles.

Outro ponto que mereceu atenção destacada no curso foi a diferenciação entre calor e temperatura. A partir de experiências anteriores, avaliávamos que as noções de calor de que se valem os estudantes na análise de situações familiares apresentam uma pluralidade de significados: às vezes, o calor é identificado com a sensação de quentura; outras, pelos efeitos que acarreta; ou, ainda, é reduzido à temperatura indicada pelo termômetro. Com frequência, o calor é entendido como um tipo de substância contida e transportada através de materiais e a temperatura, como sua medida. O fato de o calor ser reconhecido como “forma de energia” nem sempre indica progressos, não tanto pela fragilidade da noção de conversões de energia em calor no escopo da ciência termodinâmica, mas, sobretudo, pelo fato de que a concepção cotidiana de energia é, como a de calor, igualmente imprecisa. É bastante frequente, também, a representação de energia como uma espécie de combustível que mantém as atividades dos organismos e das máquinas, sendo consumida ao longo de sua operação.

Apesar dessas ambigüidades e obstáculos, o calor é, em algumas situações, identificado como vínculo causal entre o processo de aquecimento e a variação de temperatura dos materiais. Embora assuma a forma rudimentar de uma causalidade dinâmica ou eficiente, porquanto uma causa –o calor– precede e explica um efeito e as variações de temperatura, tal raciocínio favorece a construção dos conceitos básicos da

⁵ Essa atividade foi, inicialmente, concebida por Helder Figueiredo e Paula, um dos autores da unidade que, curiosamente, não havia lido os artigos de ARNOLD & MILLAR (1994 e 1996) que sugerem experimento semelhante, em que se aquece uma latinha com água através na chama de uma vela. A vela é colocada a uma distância tal que, após certo tempo, a temperatura da água se estabiliza.

Física Térmica. No escopo da termodinâmica, essa “causalidade eficiente” foi abandonada. Considera-se que o primeiro e o segundo princípios não são mais que postulados de impossibilidades –descrevem o que acontece nas transformações e definem limites para os fenômenos que podem eventualmente ocorrer. No entanto, concordamos com HALBWACHS (1984), quando este afirma que essa identificação de “causas” e “efeitos” nos fenômenos observados cumpre uma função estruturadora no pensamento da criança e do adolescente.

Por outro lado, é preciso destacar a ausência de generalidade desse esquema, evocado pelos estudantes apenas em situações em que se reconhece um “agente” atuando como fonte de calor. Constatamos, na análise dos instrumentos de pré-teste, que situações de resfriamento espontâneo são, geralmente, consideradas evidentes, não implicando qualquer mecanismo causal, uma vez que o material volta ao seu “estado natural” (ARNOLD & MILLAR, 1994). Além disso, a compreensão dos fluxos de energia depende, em grande escala, do reconhecimento dos sistemas em interação. Assim, a prática do ensino deve resgatar essa noção de calor como produzindo efeitos diversos –entre os quais a variação de temperatura–, sistematizá-la e generalizá-la para além dos limites dados pelas representações de partida dos estudantes.

No que diz respeito às relações entre calor e temperatura, partimos de uma solicitação de ordem epistemológica: *O que levou a ciência, cuja meta é a de explicar fenômenos valendo-se de um menor número possível de princípios básicos, a considerar necessário trabalhar com dois conceitos –o de calor e o de temperatura? Por que não seria correto pressupor uma “transferência de temperatura” entre os corpos em contato, abandonando a noção de calor por desnecessária?*⁶

Essa indagação foi trabalhada a partir de três explorações, no campo da calorimetria, que evidenciaram:

1. O aquecimento diferenciado de materiais;
2. O aquecimento diferenciado conforme a quantidade de material envolvido;
3. O fornecimento de calor sem elevação de temperatura nas mudanças de fase.

Procuramos destacar o caráter intensivo da temperatura e extensivo das transferências de calor, não apenas na condução dessas atividades, mas ao longo de todo o curso. Além disso, procuramos criar oportunidades variadas para que os

⁶ Esse tipo de problema implica uma metanálise da própria ciência, a que ARONS (1983) denomina “Como sabemos o que sabemos?”. Tais reflexões, de ordem epistemológica, têm estado ausentes no ensino de ciências, de modo que os conceitos e teorias parecem, aos olhos dos estudantes, não como construções humanas, mas como naturalmente impregnados nos fenômenos e apenas “descobertos” pelos cientistas, ou como um conjunto de “regras” absolutamente arbitrárias.

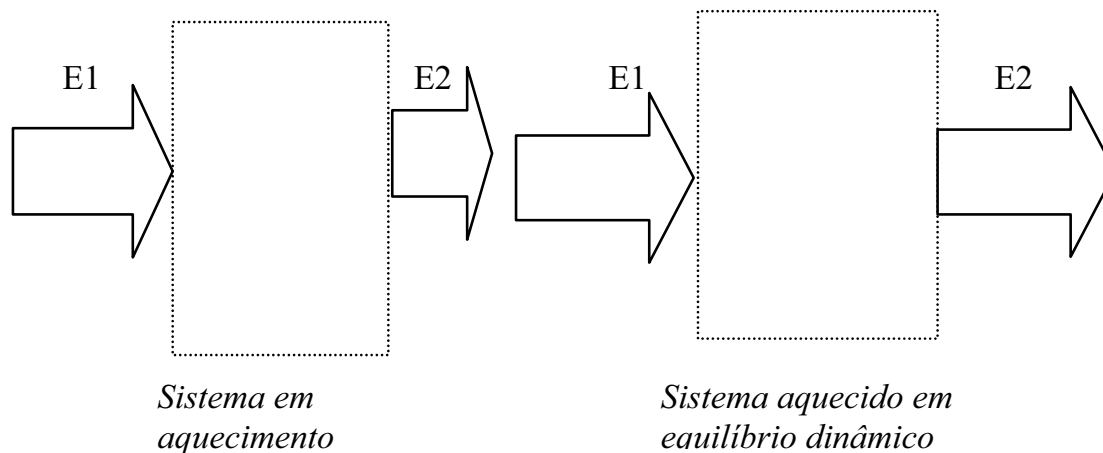
estudantes descrevessem fenômenos a partir do discurso científico, participando dele e utilizando, de modo adequado, os conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. O aprendizado de conceitos, como ensina VYGOTSKY (1991), não decorre de uma mera aceitação de seus enunciados proposicionais. Pelo contrário, aprendemos conceitos reconhecendo os contextos em que as palavras são utilizadas de modo adequado na interpretação de situações significativas. A metarreflexão acrescenta a esse uso social uma consciência das razões pelas quais o pensamento científico foi levado a distinguir essas duas noções.

Por sua vez, o problema da produção de energia pelos organismos foi orientado com base em um estudo das funções de nutrição, anteriormente realizado com a turma, retomando-se a análise de rótulos de alimentos e evidências de transformações na queima de um grão de amendoim. A partir dessas atividades, procuramos recompor a história das transformações dos alimentos no organismo. Quanto à transferência de energia para o meio, devemos reconhecer no vitalismo um de seus principais obstáculos; à medida que se concebe a energia como um atributo dos seres ligado à vitalidade, ao esforço e à atividade física, não se admira que sejam freqüentemente desprezadas as transferências de energia por meio do calor dissipado. Outro problema decorre de uma ação unilateral do meio sobre o organismo; este “sente” as mudanças no meio, mas não altera suas próprias condições físicas. Em uma das atividades propostas, procuramos apresentar situações familiares em que se evidencia o fato de estarmos aquecendo o ar à nossa volta. Procuramos, além disso, tornar observáveis as diferenças entre temperatura da pele e temperatura corporal e, sobretudo, explicar as razões dessas diferenças e das variações da primeira de acordo com as condições do meio.

Na terceira parte da unidade, investigamos os processos de controle da temperatura corporal, destacando os diferentes processos de transferência de calor – por condução, convecção, radiação e evaporação. Para tanto, buscamos destacar as atividades do organismo no sentido de alterar a taxa de calor transferido ao meio para manter constante a temperatura corporal.

A conservação da energia foi apresentada como hipótese *a priori* e investigada em função do balanço energético nos organismos. A analogia com o ferro de solda foi a estratégia utilizada como recurso auxiliar nessa construção. Como em todo o raciocínio analógico utilizado para explorar novos domínios, procuramos destacar os aspectos comuns e as diferenças entre os dois sistemas –ferro de solda e corpo humano. Nesse caso, a pergunta chave foi: *Quais são as condições físicas necessárias para que um corpo mantenha sua temperatura constante?* Dada a tendência do pensamento espontâneo em concentrar-se em cada aspecto de um problema ou em encadear causas tomadas em separado como seqüência linear de processos (ROZIER & VIENNOT, 1990; VIENNOT, 1997), procuramos auxiliar os estudantes a considerarem, simultaneamente, os processos ligados às transferências de calor e à “produção” de energia pelo sistema: enquanto o ferro de solda se aquece, a energia fornecida pela rede elétrica é superior à transferida ao meio e, assim, a temperatura do ferro aumenta; esse aumento de temperatura do sistema acarreta um

aumento no fluxo de calor para o meio; como o fornecimento de energia é constante, após um certo tempo, serão iguais os fluxos de energia, o que explica, a partir de então, a manutenção de temperatura. Essas transformações podem ser representadas na forma de diagramas esquemáticos em termos de fluxos de energia:



Por outro lado, ao contrário do que ocorre com o ferro de solda, o fornecimento de energia do organismo não se faz a uma taxa constante, dependendo não só do fornecimento de oxigênio e nutrientes às células, mas, também, de um conjunto de fatores que podem inibir ou favorecer as taxas metabólicas. Assim como acontece com as taxas metabólicas, as taxas de transferência de calor ao meio são, também, reguladas pelo sistema nervoso central. Para finalizar, procuramos expandir as considerações a respeito do balanço energético considerando as diferenças entre animais homotermos e heterotermos, em termos das intensidades das trocas de energia com o ambiente e das estruturas de revestimento do corpo por meio de alguns “casos” de adaptação de organismos às condições, a princípio desfavoráveis, de temperatura do meio.

V. O fazer e refazer do planejamento no curso das práticas

As atividades e estratégias que compuseram o curso “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”, descritas e justificadas na seção precedente, não são capazes de pôr em evidência os impasses e tensões que caracterizam o fazer pedagógico nas instâncias práticas da implementação de seus propósitos. O modelo de ensino que investigamos propõe princípios organizadores e categorias gerais que permitem refletir acerca dos conteúdos escolares, das metas de aprendizagem e das seqüências de ensino que podem favorecer uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes. Como temos tido o cuidado de ressaltar, porém, ele não leva a soluções únicas e definitivas, mas a decisões que devem ser, a todo momento, reavaliadas e situadas no marco das interações, sempre singulares, com os sujeitos educandos.

As instâncias do planejamento desse curso envolveram três momentos distintos: no primeiro deles, concebemos a unidade temática no marco de inovações curriculares que pretendíamos implementar; no segundo, esse planejamento, inicialmente orientado para um “estudante qualquer”, foi transposto para uma situação específica de sala de aula, no estudo piloto, realizado em finais de 1998; no terceiro, logo no ano seguinte, efetuamos novas modificações no seu desenvolvimento a partir de uma avaliação das ocorrências relacionadas ao novo contexto de interações. Tal avaliação foi feita a partir de discussões e registros realizados pelos professores envolvidos –Selma e eu– e da análise das aulas, gravadas em vídeo.

Para analisar esses movimentos alternados de reflexão e ação, utilizaremos como referencial teórico as análises, de Gauthier e colaboradores, relativas aos saberes docentes (GAUTHIER et al., 1998). Os autores consideram o professor como um prático que, em relação à situação complexa em que atua, toma decisões contextualizadas, para as quais pode fornecer uma justificativa racional. Através de sua capacidade de julgar, o professor organiza e dá sentido à sua prática, mobilizando diferentes saberes provenientes de sua formação e de sua própria prática. Para os autores, a ação docente envolve uma razão prática, de natureza deliberativa, mergulhada na contingência, contextualizada, retórica e comunicacional.

Gauthier se vale de uma analogia do professor como um juiz, nos seguintes termos: necessitam ambos da retórica, em estreita relação com a persuasão; devem julgar aquilo que é preciso fazer ou já foi feito; situam-se ambos no jogo da negociação entre um caso determinado e a lei. Além disso, como o juiz, o professor procede, freqüentemente, por analogias: uma determinada situação nova faz pensar em uma outra mais antiga e, conseqüentemente, uma decisão que foi tomada anteriormente servirá de jurisprudência para analisar a nova situação que possui características semelhantes⁷. Para que haja jurisprudência, é preciso não somente que sejam tomadas decisões, mas também que estas sejam motivadas e defensáveis, o que permite, tanto ao juiz quanto ao professor, subtrair-se à suspeita de arbitrariedade, que pesa sobre essas decisões. No caso do ensino, porém, o professor tem de decidir sem contar com o apoio de verdadeiras leis, ou seja, de uma jurisprudência pública validada, recorrendo, então, a uma jurisprudência pessoal.

A unidade temática “Regulações térmicas nos seres vivos” foi fruto de reflexões baseadas na jurisprudência pessoal de uma equipe de professores com formações diversas. A conversão de nossas intenções em ações práticas efetivas em sala de aula gerou outras instâncias de reflexão e ação para os professores envolvidos, a partir do julgamento das próprias ações e das ações e repertórios de conhecimentos dos estudantes.

⁷ A jurisprudência é o conjunto das decisões tomadas pelos tribunais a respeito de uma mesma questão ou sobre questões análogas. Sua função, no direito, é a de adaptar a lei aos casos concretos e específicos.

Em alguns momentos, as dificuldades demonstradas pelos estudantes na realização de certas atividades, levaram-nos a modificar o modo como estas eram apresentadas. Em um trabalho anterior, no qual foram analisadas experiências didáticas com a introdução à Física Térmica no ensino fundamental (AGUIAR JR., 1999⁸), havíamos constatado que as explicações dadas às diferentes sensações provenientes de materiais em equilíbrio térmico envolviam a reestruturação de um conjunto de esquemas, o que gerava, muitas vezes, compensações parciais e incompletas. Por isso, era preciso cuidar para que os estudantes tivessem amplas oportunidades de discutir o problema com distintos graus de suporte e orientação na tarefa. Considerando esse fato, modificamos determinados aspectos da atividade com os blocos de madeira e alumínio, introduzindo discussões sobre o que acontecia com a temperatura do interior das duas peças, no momento em que eram aquecidas por nossas mãos.

No ano seguinte, a professora, no momento em que a atividade era conduzida junto à turma, propôs uma nova dinâmica. Como sempre, após o trabalho realizado pelos grupos, os estudantes deveriam relatar suas conclusões, buscando estabelecer um entendimento comum acerca do problema proposto. Nessa ocasião, as intervenções da professora destacavam as dúvidas, evidências e interpretações dos grupos, orientando para uma síntese do trabalho, cuja generalidade passou, em seguida, a ser examinada em outras situações imaginadas. No entanto, nesse dia, sensível às dificuldades de uma parte da turma, Selma propôs que os estudantes voltassem aos grupos, rediscutissem o problema e elaborassem um texto escrito, explicando a questão a eles apresentada: *Por que diferentes materiais, em um mesmo ambiente, provocam sensações térmicas diversas ao serem tocados, apesar de estarem a uma mesma temperatura?*

Em um primeiro momento, essa dinâmica em três tempos pareceu-me desnecessária e excessivamente prolongada. Contudo, as gravações em vídeo das discussões em um dos grupos evidenciaram a adequação desse procedimento didático naquelas circunstâncias. Uma das alunas, Dan, que não tinha acompanhado as conclusões da turma, foi auxiliada pelos colegas, um dos quais –Leo– parece igualmente confuso, embora não tivesse consciência disso:

⁸ O artigo, publicado em 1999, refere-se a experiências didáticas realizadas em 1997, na Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG.

Dan: (virando-se para o grupo) Se o alumínio é um bom condutor de calor, por que quando a gente pega, ele esfria?

Leo: Porque a temperatura do ambiente está fria. Então, ele vai ficar frio mais rápido.

Dan: Mas, se ele está em equilíbrio com a temperatura ambiente...

Cri: Não, é porque você vai transferir calor mais rápido pra ele, sabe?

Dan: Então, ele tem que ficar mais quente, não?

Leo: Não.

Cri: Na hora que coloca, ele tá frio. Aí que você vai perceber. Aqui, o alumínio, como o todo metal, é condutor. Isso significa que o calor se transfere rapidamente através desse material. Assim, ao tocar o bloco de alumínio, não estaremos aquecendo apenas a parte de metal em contato direto com a nossa mão, mas toda a peça que é rapidamente aquecida. O fluxo de calor da nossa pele para o alumínio é muito maior; muito maior do que o fluxo pra madeira, mesmo estando ambos na mesma temperatura. Sendo assim, o bloco de alumínio parece mais frio, pois você vai estar passando mais calor do que para madeira.

Dan: Então, deveria ser mais quente, não?

Cri: Não. A princípio, não. Depois é que ele vai esquentar.

Leo: Porque é você que está perdendo calor.

Dan (balança a cabeça concordando): Vai fazer cada um o seu? Ou não?

Leo: Não.

Cri (referindo-se ao texto da apostila): Vou grifar as partes que acho que são importantes. Você escreve; depois, você deixa eu copiar.

Lud: Mas a gente não vai copiar igual ao que está aí, vai?

Cri: Ah, eu não sei. Texto síntese.

Em outra atividade, na turma do estudo piloto, notamos que a analogia do corpo humano com o ferro de solda, no que se refere às trocas de energia com o meio e à manutenção da temperatura, envolvia dois problemas distintos:

1. Por que o corpo humano não se encontra, como outros materiais, em equilíbrio térmico com o meio?;

2. Por que a temperatura corporal se mantém constante e o que deve fazer o nosso organismo para garantir que isso ocorra?

Analisando as dificuldades dos estudantes em examinar, a um só tempo, esses dois problemas, decidimos tratá-los em separado no ano seguinte. Assim,

desdobramos a atividade original em outras duas. A solução para o primeiro problema envolve uma importante generalização: a de que o organismo transfere continuamente energia, na forma de calor dissipado ao meio; para o segundo, implica considerações relativas ao balanço energético dos organismos.

Entretanto, ao realizarem a primeira dessas atividades, muitos grupos concentraram-se na análise de um terceiro problema, que não havia sido previsto: *Por que o ferro de solda, quando colocado na água, atinge uma temperatura muito inferior à que ele apresentava no ar?*

A discussão desse problema, inicialmente, nos grupos e, depois, com toda a turma, acabou por recontextualizar o estudo das relações entre calor e temperatura: o menor aquecimento do ferro de solda em água é uma evidência de que ele transfere mais calor à água que ao ar. Tal diferença explica-se pelas diversas capacidades térmicas das camadas de água e de ar que entram em contato com o metal aquecido. Ainda no contexto dessa discussão, aproveitamos para exemplificar o caso das regulações térmicas de mamíferos aquáticos em regiões temperadas e polares, como baleias, ursos e focas, por exemplo, que só é possível graças a espessas camadas de gordura que diminuem as transferências de calor ao ambiente. Enfim, essa situação permite destacar que o imprevisível na sala de aula nem sempre atua como elemento desagregador e indesejável. Nesse caso, fatores que pareceram perturbadores aos estudantes (há mais ar na sala que água no béquer; assim, o ferro deveria transferir mais calor para o ar que para a água) permitiram novas compensações e o enriquecimento dos esquemas e estruturas conceituais envolvidos.

Muito embora esses pequenos ajustes tenham tido uma importância crucial no desenrolar do curso, o problema central que orientou nossas decisões foi o da diversidade das produções dos estudantes. Na turma piloto, surpreendeu-nos a disparidade dos progressos dos estudantes, em relação aos pontos de partida de cada um deles, como resultado de nossas intervenções. Identificamos como principais fatores determinantes dessa disparidade as diferentes competências comunicativas do grupo, tanto na expressão oral quanto em textos escritos, além de interesses e motivações diversas em relação ao processo de escolarização e aos seus conteúdos. Embora tenhamos tido uma boa adesão da turma toda à proposta do curso, observamos que isso se devia à intensa participação de algumas de suas lideranças. No entanto, uma porção considerável de estudantes, bastante agitada, não apresentava envolvimento suficiente com as reflexões que procuramos promover.

No ano seguinte, ao preparar a segunda versão do curso, cientes de que uma das características marcantes da turma em que iríamos atuar, então, era a heterogeneidade de interesses, habilidades e atitudes frente aos conteúdos escolares, discutimos formas de minimizar essa disparidade de resultados do ensino. Mesmo que os estudantes atingissem diferentes patamares de entendimento, deveríamos assegurar que o ensino propiciasse condições para que todos pudessem dele se beneficiar, cada um de seu modo e de acordo com o seu ritmo. A estratégia que utilizamos para isso consistiu em imprimir maior ênfase na constituição de comunidades de discurso na sala

de aula. Assim, a professora passou a cobrar com maior rigor sínteses pessoais do que era discutido em cada momento do curso, após cada uma das atividades realizadas. O objetivo era o de homogeneizar as representações do grupo, insistindo na participação de todos nos momentos de síntese e destacando mais claramente, de modo recursivo, os pontos-chave da unidade. Essa forma de condução dos trabalhos, que julgávamos mais adequada aos alunos que, nessa turma, se colocavam à margem do processo de ensino e aprendizagem, criou também suas arestas.

O primeiro problema que enfrentamos foi o ritmo do curso, que, muito lento no primeiro mês, gerou insatisfações, sobretudo por parte dos estudantes com melhor desempenho. Mesmo alguns daqueles estudantes que apresentavam dificuldades no desenvolvimento dos conteúdos do curso manifestaram, algumas vezes, descontentamento com relação à dinâmica das aulas, consideradas “chatas e cansativas”. Convém acrescentar que, ao contrário da turma do estudo piloto, a que acompanhávamos agora era bastante apática e muito dividida. Assim, as circunstâncias que nos levaram a imprimir ao curso características diferentes do primeiro não diziam respeito ao repertório de conhecimentos dos estudantes sobre o tema tratado, mas, antes, às formas como se organizavam em sala de aula e às atitudes frente aos colegas, ao ensino e à aprendizagem.

Assim sendo, no início do segundo mês de curso, tornou-se evidente a necessidade de novas orientações para a continuidade do trabalho. Como muitos estudantes manifestavam descontentamento com relação ao caráter aberto e investigativo do curso, demandando aulas mais diretivas e centradas na exposição do conteúdo, decidimos reiniciar os trabalhos, após o recesso de julho, com uma aula expositiva buscando elaborar uma síntese dos aspectos centrais da primeira parte do curso, que pudesse, além disso, despertar o interesse e a curiosidade do grupo, ampliando a abrangência e a aplicação dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. Ao mesmo tempo, pretendíamos propor novas situações-problemas, introduzindo informações e elementos que possibilitassem um engajamento efetivo na nova etapa do projeto.

Quanto ao ritmo dos trabalhos, julgamos que a lentidão na condução das atividades era, em parte, decorrente da apatia do grupo⁹. Apesar disso, os resultados do primeiro teste escrito e das atividades realizadas foram bem melhores que os obtidos com a turma piloto. Passamos a marcar previamente os tempos destinados à realização de cada atividade nos grupos, aumentamos a quantidade de tarefas para casa e procuramos criar uma dinâmica mais diversificada para o trabalho em sala de aula. Notamos que, em algumas aulas, aumentou a participação dos estudantes; em outras, sentíamos o mesmo desinteresse que tanto nos incomodava.

⁹ Embora houvéssimos planejado as aulas para um tempo menor que o dispensado junto à turma do estudo piloto –um total de 12 aulas de 90 min cada–, acabamos por ampliá-lo na prática, encerrando o curso com 15 aulas de 90 minutos.

A principal iniciativa no sentido de contornar essa indiferença consistiu em agendar para os estudantes com desempenho mais fraco no primeiro teste escrito uma aula extra compulsória¹⁰. Essa decisão contou com uma resistência inicial da professora que temia, com isso, consolidar um tratamento diferenciado a um grupo que se recusava a participar dos trabalhos no tempo disponível para tanto. Entretanto, insisti na idéia, julgando que pudéssemos, por essa via, ouvir as queixas do grupo e estabelecer um outro nível em nossas relações interpessoais. Queria mostrar-lhes, sobretudo, que acreditávamos na capacidade de cada um deles e nos dispúnhamos a ajudá-los. O encontro, de 100 minutos, foi realizado fora do turno regular de aulas. Todos compareceram –com exceção da professora que, no mesmo horário, tinha uma reunião com os pais dos alunos– e apresentaram sua avaliação do curso: julgavam os textos e os conteúdos muito complicados e justificavam sua passividade e desinteresse pelo fato de não estarem “entendendo nada”; questionavam a dinâmica das aulas, sob a alegação de que apenas uns poucos colegas falavam nas discussões coletivas; reconheciam que, de fato, não faziam as tarefas nos grupos quando isso era solicitado, pois brincavam muito ou conversavam sobre outros assuntos; reclamavam da inexistência de matéria exposta no quadro para ajudá-los a estudar em casa, embora não demonstrassem ter esse hábito. A propósito, mostrei-lhes que os textos da unidade continham as sínteses necessárias para isso, mas eles alegaram que a linguagem era muito sofisticada e não os ajudava. Queria, ainda, que os professores conduzissem mais o discurso nas aulas e solicitassem menos a participação dos alunos. Tentei convencê-los de que isso não os ajudaria a aprender melhor, mas negociamos que, a partir de então, iríamos usar mais o quadro negro nas sínteses das aulas. Depois desse encontro, passamos, também, a fazer leituras dirigidas dos textos, interrompendo-as a cada parágrafo e solicitando que algum aluno fizesse um breve comentário acerca de seu conteúdo.

Durante essa “aula de reforço”, propus um conjunto de atividades que não haviam sido realizadas em sala de aula, mas que tratavam dos mesmos conteúdos. Fiquei surpreso com o bom desempenho dos estudantes nessas atividades e fiz questão de indicar seus progressos. A sensação de sucesso é, certamente, um dos principais fatores que conduzem a um engajamento mais efetivo dos estudantes nas atividades de aprendizagem. Ao meu ver, conseguimos minimizar a recusa que se revelara nas condutas daquele grupo durante o primeiro mês do curso. Os fatores que nos pareceram mais significativos foram: o aumento da auto-estima dos estudantes e o sentimento de que estavam sendo valorizados e apoiados pelos professores. No entanto, as mudanças de atitude, embora visíveis, foram menos significativas do que desejávamos. Em muitos momentos, esses alunos mostraram-se, do mesmo modo, preguiçosos e apáticos em sala

¹⁰ Esse grupo era composto por 10 estudantes, de um total de 32. Em geral, seu desempenho melhorou significativamente depois dessa aula, não tanto pelos conteúdos que foram tratados, mas, sobretudo, pela escuta diferenciada que a atividade propiciou, gerando uma atitude de maior acolhimento e compromisso com o trabalho.

de aula, ainda que mais dispostos a colaborar. Decisiva para sustentar esse maior engajamento foi, a partir de então, a solicitação freqüente, por parte da professora, de que eles emitissem suas opiniões e conclusões, valorizando-as sempre que possível.

Diante da solicitação do grupo, realizamos uma segunda aula extra-turno. Dessa vez, convidamos todos os alunos que se interessassem em rever alguns pontos. Nessa segunda aula, realizada na penúltima semana do curso, contamos com a participação de sete alunos, e nela fizemos uma revisão das idéias-chave da unidade, buscando novos exemplos em que pudessem ser aplicadas. Examinamos, também, outros experimentos, relacionados aos processos de transferências de calor, além daqueles realizados com toda a turma.

Outro ponto decisivo no curso foi a avaliação do nível de aprofundamento nos conteúdos, em decorrência de solicitação de alguns estudantes com melhor desempenho. Alguns desses alunos davam sinais de descontentamento com o nível das explicações dadas, relativas apenas a aspectos macroscópicos do problema. Tendo estudado anteriormente no livro didático adotado pela escola, utilizado como recurso auxiliar de ensino, achavam que o curso era pouco teórico, e que deveríamos aprofundar a interpretação da temperatura como medida de agitação das partículas. No planejamento original, decidimos não fazê-lo deixando isso para a unidade seguinte, quando trataríamos da construção de modelos de partículas para interpretar vários fenômenos, muitos deles no campo da Física Térmica. No entanto, ao avaliar a demanda desse pequeno grupo de alunos, chegamos a pensar em adiantar algumas características do modelo cinético, mesmo que não fosse esta a ênfase de conteúdos do curso. Contudo, julgamos que isso poderia afastar ainda mais os estudantes com dificuldades em acompanhar as discussões, uma vez que iríamos ampliar demasiadamente a abrangência de seus conteúdos que, como vimos, já eram bastante extensos.

Tudo isso permite-nos destacar que não existe uma boa seqüência didática em abstrato. Esta é sempre relativa a um conjunto de estudantes que com ela interage, a partir de seus conhecimentos prévios, dos estilos de aprendizagem, das expectativas e níveis de exigência quanto ao que consideram como uma explicação adequada a um dado fenômeno. Embora bastante ativo, esse grupo de estudantes, com bom desempenho escolar, apresentava, também, alguma resistência à dinâmica das aulas, que considerava “pouco teóricas”, e gostaria de ter definições mais claras, mais exercícios e menor preocupação dos professores com relação às suas idéias.

O trabalho de sedução e conquista que o professor realiza continuamente junto a seus alunos compreende tanto o conteúdo do ensino quanto a metodologia e a organização dos tempos e espaços da sala de aula. Os estudantes demonstram, com freqüência, comportamentos ambíguos a esse respeito; afirmam gostar de aulas dinâmicas, mas, às vezes, assumem uma postura mais passiva em aula. O ensino transmissivo, à medida que solicita menor compromisso e esforço por parte dos estudantes, apresenta-se, muitas vezes, como atrativo, sobretudo quando estes sentem-se inseguros e com dificuldades quanto à assimilação dos conteúdos propostos. Na

turma que acompanhamos, a professora vinha exercendo, pelo segundo ano consecutivo, um ensino nos moldes aqui descritos. Seus relatos indicam uma enorme resistência e passividade dos alunos no primeiro ano de trabalho, quando em várias ocasiões avaliavam e discutiam abertamente a melhor maneira de organizar e conduzir as aulas. Apesar de eu considerar esta turma apática, quando comparada à turma do estudo piloto, a professora afirmava que ela se apresentava muito mais disposta a participar e envolver-se com o trabalho do que no ano anterior. A negociação das formas de trabalho permeia o cotidiano do trabalho docente. Nessa turma, a professora mostrava-se firme em sua posição, que buscava fortalecer sempre que possível, sinalizando os bons resultados da aprendizagem.

Para GAUTHIER e colaboradores (1998), o trabalho docente estrutura-se em torno de dois grandes grupos de funções: no primeiro, destina-se à gestão da matéria e, no segundo, à gestão das interações em sala de aula. Embora o modelo de ensino que examinamos comporte elementos ligados à gestão de conteúdos, esta é indissociável da gestão da sala de aula, ou seja, dos aspectos ligados à motivação, ao comportamento dos estudantes e ao espaço de relações interpessoais.

A situação pedagógica é uma situação complexa, de dimensões múltiplas e muitas vezes, contraditórias, na qual o professor deve agir da melhor maneira possível, com base em diversos saberes. Acertadas ou não, a situação pedagógica obriga a tomadas de decisão, muitas vezes, com urgência. Analisamos várias delas, ligadas ao tempo, ao auxílio diferenciado a alunos com diferentes desempenhos, à adequação das atividades às demandas do grupo, às negociações em torno dos conteúdos e formas de organização da sala de aula. Dado o caráter contingente do ensino, que atua em um espaço de possibilidades cujo grau de sucesso não se pode prever com segurança, nada garante a justeza de sua orientação, muitas vezes, posteriormente considerada inócua ou equivocada. Em função dessa complexidade, afirmam GAUTHIER e colaboradores, “*o professor deve agir com prudência e reajustar regularmente os meios de que dispõe em função das finalidades que pretende atingir (1998, p. 321)*”. Por outro lado, certas decisões não podem, a todo momento, ser modificadas, sob a pena de comprometerem o projeto educativo do qual fazem parte. A firmeza é uma das exigências do ofício de educar.

Referências Bibliográficas

AGUIAR JR., O. Planejar o ensino considerando a perspectiva da aprendizagem: uma análise de abordagens didáticas na introdução à Física Térmica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n.2, p. 219-241, 2002.

AGUIAR JR., O. **Modelo de ensino para mudanças cognitivas**: um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências. 2001. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

AGUIAR Jr., O. Calor e temperatura no Ensino Fundamental: o ensino e a aprendizagem em uma perspectiva construtivista. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 1, p. 1-15, 1999. Publicação Eletrônica: www.if.ufrgs.br/public/ensino.

AGUIAR Jr., O.; FILOCRE, J. Modelo de ensino para a mudança cognitiva: fundamentação e diretrizes de pesquisa. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 47-67, 1999.

ARNOLD, M.; MILLAR, R. Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 4, p. 405-419, 1994.

ARNOLD, M.; MILLAR, R. Learning the scientific 'story': a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. **Science Education**, v. 80, n.3, p. 249-281, 1996.

ARONS, A. Students patterns of thinking and reasoning, Part I. **The Physics Teacher**, n. 22, p. 576-581, 1983.

BAZAN, M. Modèles pédagogiques et recherche en didactique. **Aster**, v. 16, p. 3-7, 1993.

CAFAGNE, A. **Concepções em termodinâmica**: o senso comum e o conhecimento científico. 1996. Tese (Doutorado) - Faculdade de Educação, USP, São Paulo.

DROUIN, A. M. L'utopie créative ou la pensée moldèle. *Aster*, v. 16, p. 201-219, 1993.

GAUTHIER, C.; MARTINEAU, S.; DESBIENS, J. F.; MALO, A.; SIMARD, D. **Por uma teoria da pedagogia**: pesquisas contemporâneas sobre saber docente. Trad. Francisco P. Lima. Ijuí: Editora Unijuí, 1998.

HALBWACHS, F. La física del profesor entre la física del físico y la física del alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 2, n. 1, p. 149-166, 1984.

KARMILOFF-SMITH, A.; INHELDER, B. If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, v. 3, n. 3, p. 195-212, 1975.

LEMEIGMAN, G.; WEIL-BARAIS, A. A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, v. 16, n. 1, p. 99-120, 1994.

LIMA, M. E.; AGUIAR Jr., O.; BRAGA, S. Construção de um currículo de ciências para a 5ª a 8ª séries do ensino fundamental: um trabalho de parceria FaE-Centro Pedagógico da UFMG. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, I, 1997. *Atas...* Porto Alegre: IF/UFRGS. p. 357-365.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**. Trad. Marion M. Penna. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1976.

PIAGET, J.; GARCIA R. **Psicogénesis e historia de la ciencia**. 2. ed. México: Siglo Veintiuno Editores, 1984.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. **Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico**. Madrid: Morata, 1998.

ROZIER, S.; VIENNOT, L. Students' reasonings in Thermodynamics. *International Journal of Science Education*, v. 13, n. 2, p. 159-170, 1991.

TEIXEIRA, O. **Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura**: a mudança conceitual e o ensino construtivista. 1992. Tese (Doutorado). Faculdade de Educação, USP, São Paulo.

VIENNOT, L. Experimental facts and ways of reasoning in Thermodynamics: learners' common approach. In: TIBERGHIEU, A.; JOSSEM, L.; BAROJAS, J. (Eds.). **Connecting research in physics education with teacher education**. London: ICPE, 1997.

Available from Internet: www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente**. 4. ed. Trad. José Cipolla Neto. São Paulo: Martins Fontes, 1991. (Original parcialmente publicado em 1960, na URSS)