

CALOR E TEMPERATURA NO ENSINO FUNDAMENTAL: RELAÇÕES ENTRE O ENSINO E A APRENDIZAGEM NUMA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA

(Heat and temperature at junior high school level: relationships between teaching and learning in a constructivist perspective)

Orlando Aguiar Jr. [orlando@fae.ufmg.br]

Faculdade de Educação – UFMG

Av. Antonio Carlos, 6627

Campus Universitário UFMG

31270-901 Belo Horizonte, MG

Resumo

Nesse trabalho, iremos examinar, em caráter exploratório e preliminar, as possibilidades e contribuições de um Modelo de Ensino como instrumento auxiliar ao planejamento, desenvolvimento e avaliação de propostas de ensino de ciências, voltados para a promoção de mudanças cognitivas. Para isso, serão descritos os instrumentos utilizados no planejamento de um curso introdutório de Calor e Temperatura junto a alunos/as de 8ª série do Ensino Fundamental, e analisados seus resultados. O Modelo proposto procura estabelecer patamares pedagógicos concebidos a partir das tríades sucessivas que marcam a evolução do conhecimento causal em termos intra, inter e trans-objetais (Piaget e Garcia, 1987). A avaliação dos resultados do trabalho, a partir da análise dos materiais escritos produzidos pelos estudantes ao longo do processo, nos levam a afirmar a complexidade intrínseca da aprendizagem humana, entendendo por complexidade fenômenos históricos, irreversíveis, imprevisíveis e indeterminados (Prigogine e Stengers 1997/1984). Concluimos com reflexões acerca do alcance das mudanças efetivadas no ensino de ciências e da improcedência de uma leitura linear de seus resultados. A análise do modelo será conduzida em termos do ensino, da aprendizagem e, sobretudo, das relações entre ensino e aprendizagem.

Palavras-chave: calor e temperatura; ensino e aprendizagem; modelo de ensino.

Abstract

In this paper we will explain, in an exploratory and preliminary character, the possibilities and contributions of a Teaching Model as an auxiliary instrument to planning, development and evaluation of proposals for science teaching that are geared at the promotion of cognitive changes. Thus, we will describe the instruments used in the planning of an introductory course on heat and temperature with 8th graders, and we will analyze their results. The proposed model tries to establish pedagogical stages conceived from the successive triads that mark the evolution of causal thinking in intra, inter and transobjectal terms (Piaget & Garcia, 1987). Research findings of this work, based on the analysis of written material produced by the students throughout the process lead us to affirm the intrinsic complexity of human learning, understanding complexity as historical, irreversible, unforeseeable, and underdetermined phenomena (Prigogine & Stengers, 1997/1998). We conclude with considerations about the range of the realized changes in science teaching and about the groundlessness of a linear reading of their findings. The model analysis will be carried out in terms of teaching, learning and, mainly, of the relationships between teaching and learning.

Keywords : heat and temperature; teaching and learning; teaching model.

As reflexões que aqui faremos foram desenvolvidas a partir de um trabalho realizado no Centro Pedagógico - Escola de Ensino Fundamental da UFMG. Tal trabalho se insere num Projeto de parceria em que se articulam formação de professores (inicial e continuada), reformas curriculares e produção de materiais didáticos (Lima, Aguiar e Moura, 1997). O projeto envolve professores de Prática de Ensino de Física e de Química da Faculdade de Educação, professores de Ciências do Centro Pedagógico, alunos de graduação em Química e em Física em estágios supervisionados e alunos de Especialização em Ensino de Ciências em monitorias de pós-graduação.

A Unidade Temática¹ “Construindo Modelos: Calor e Temperatura” foi produzida procurando dar continuidade ao estudo introdutório de Química, realizado anteriormente com as turmas de 8ª série (Mortimer, 1996). Os fenômenos térmicos e os conceitos de temperatura e de calor estavam presentes nessa abordagem introdutória à estrutura da matéria, embora de uma maneira marginal. Num primeiro momento, interessava-nos avaliar em que medida o modelo cinético molecular seria utilizado com sucesso na interpretação de fenômenos térmicos, tomados de agora em diante como objeto central de estudo. Entretanto, no texto e nas atividades que produzimos, optamos por uma orientação a princípio mais fenomenológica e fundamentada na termodinâmica, sem o tratamento explícito de variáveis microscópicas, tais como energia interna, velocidade média das partículas, forças de interação, etc. Apenas nas últimas atividades e textos voltamos aos conceitos da termodinâmica estatística quando da discussão de conversões de energia e das insuficiências históricas do modelo do calórico. A seguir, passamos a discutir os pressupostos que fundamentaram as escolhas quando do planejamento dessa unidade de ensino.

As três etapas piagetianas, patamares de entendimento e o planejamento didático

Seria insuficiente dizer que o módulo didático do curso seguiu uma orientação construtivista ou que procuramos, através de suas atividades, elementos que favorecessem aprendizagens que envolvem, em última instância, mudanças cognitivas de maior ou menor envergadura. É preciso antes esclarecer de que construtivismo falamos (quais são seus pressupostos?), o que entendemos por mudanças cognitivas e como pensamos favorecê-las nas interações em sala de aula.

Temos procurado estabelecer um “modelo de ensino” orientado para a promoção de mudanças cognitivas, entendendo por “modelo” um certo modo de conduzir a ação docente que tem compromissos com uma dada concepção de ensino, de aprendizagem e de conhecimento. O modelo se distingue de um método ou de uma técnica de ensino, uma vez que pressupõe flexibilidade quanto aos meios ou às estratégias de ação e uma reflexão continuada sobre os princípios que orientam essa ação. Em trabalhos anteriores, justificamos e desenvolvemos em detalhe a compreensão que temos do processo de aprendizagem por mudança conceitual (Aguiar Jr., 1995), bem como o Modelo de Ensino que adotamos (Aguiar Jr. e Filocre, 1999) e o planejamento de cursos segundo sua perspectiva (Aguiar Jr., 1999). Esse modelo tem na epistemologia genética seu principal fundamento teórico, embora não exclusivo, posto que contempla ainda uma dada visão de cultura, de educação e de escolarização que estão fora do escopo das preocupações da obra de Piaget. Não iremos aqui descrever em detalhe o modelo de ensino adotado mas apenas indicar algumas de suas principais implicações para o planejamento, desenvolvimento e avaliação do módulo de ensino que estamos a examinar.

Entendemos o conhecimento como ato de interpretação de um sujeito que, diante de uma novidade, aciona esquemas de assimilação e os modifica por acomodação às situações que lhe parecem perturbadoras. Nesse processo ativo de assimilações e acomodações, ou seja, de

¹ Chamamos “Unidade Temática” um conjunto de materiais didáticos organizados em textos e atividades que guardam uma certa autonomia com relação a outras unidades que compõem o currículo. As Unidades Temáticas são instrumentos para a flexibilização do currículo e para um trabalho de contextualização de seus conteúdos.

integrações e diferenciações, o sujeito acaba por engendrar equilíbrios majorantes, isso é, restaura o equilíbrio num patamar que enriquece suas possibilidades de compreensão, bem como a extensão do campo de aplicação de suas “teorias”² (Piaget, 1976). O processo de construção é assim um processo de reestruturação no qual todo conhecimento novo é gerado a partir de outros prévios.

Entretanto, as novidades não estão contidas nos esquemas de partida mas resultam de uma atividade do sujeito quando de sua interação com o meio físico e social. No sentido piagetiano, a interação consistirá sempre num grau de novidade e, portanto, de perturbação para o sujeito, o que determina uma busca. Conhecer implica atuar e atuar supõe um processo de modificação e mudança produzida pelo duplo jogo da assimilação e da acomodação. É preciso dizer ainda que a interação do sujeito com os objetos do conhecimento é mediada pela linguagem, pela cultura e pela relação com outros membros da cultura. É através do outro que temos acesso à realidade (Vygotsky, 1991) e é a partir das trocas sociais que a racionalidade se desenvolve (Piaget, 1983).

Nesse sentido, a educação científica deve estar comprometida com a introdução do jovem às novas esferas de produção cultural da ciência e da tecnologia, de forma a permitir uma reflexão sobre os impactos dessa atividade na vida contemporânea. Assim, os fatores sociais e individuais do conhecimento devem ser considerados como elementos complementares e irreduzíveis na aprendizagem escolar: de um lado “construir conhecimentos” refere-se a um esforço pessoal e insubstituível de estruturação progressiva do real, em que o sujeito é ativo e criativo; de outro, trata-se de uma construção mediada, apoiada e suportada pelas interações com os outros, acerca de objetos que fazem parte de nossa herança cultural, mas que são continuamente transformados a cada nova interpretação. A educação em ciências pretende assim tornar pessoais os significados culturais desenvolvidos pelas comunidades científicas ao longo da história humana, de maneira que a ciência, enquanto atividade especializada, possa ser apreciada, criticada e compreendida por todos.

É evidente que essa “compreensão” pode se desenvolver em muitos patamares ou níveis de entendimento. O processo é inesgotável, na medida em que uma compreensão não pode ser nunca entendida como “completa”, fechada ou acabada. A cada zona de luz, revelam-se novas incertezas, novas regiões de sombra “*e a sombra não é mais o que está fora da luz mas, o que se produz, de maneira menos visível, no centro da própria fonte de luz*” (Ceruti, 1998). Segundo Piaget (1976), o conhecimento não procede por simples acréscimos de fatos ou relações, mas por reorganizações sucessivas e majorantes. O caráter majorante das equilíbrios significa a construção de instrumentos cada vez mais fortes e complexos para estabelecer trocas com o meio (tanto na ação material quanto na compreensão dos novos problemas colocados).

Uma das principais questões que se colocam à Didática das Ciências consiste em como resolver o imenso fosso entre as concepções de senso comum acerca dos processos físicos e os conceitos e teorias científicas produzidos continuamente pela Física. Com Bachelard, aprendemos a marca da descontinuidade, da ruptura, entre essas duas formas de produção de conhecimento (Bachelard, 1997/1938), cada vez mais evidenciadas pelas pesquisas em ensino de ciências (Guidoni, 1985; Santos, 1991; Driver et alli, 1994).

Nos parece fundamental à didática em ciências e à formação docente a consciência de que falamos de coisas distintas quando usamos as mesmas expressões utilizadas pela linguagem cotidiana. Nos fenômenos térmicos, pesquisas têm indicado “modos de pensar” do senso comum que fazem corresponder esquemas de calor e frio às sensações físicas provocadas (Cafagne, 1996). A indiferenciação de conceitos, a substancialização do calor, a atribuição de propriedades de “atração” e “repulsão” ao calor e ao frio e a idéia de que a temperatura revela a “quantidade de calor” existente em um corpo são alguns traços característicos do pensamento de senso comum acerca dos processos térmicos.

² Incluímos aqui não apenas as teorias científicas, mas ainda as “teorias implícitas” (Pozzo, 1987) ou “teorias em ação” (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975). Estas diferem das teorias científicas por uma tomada de consciência inexistente ou insuficiente.

A essas idéias opõe-se a visão da termodinâmica clássica, usualmente ensinada pela Física escolar. Segundo essa teoria, calor é um conceito que descreve as interações entre dois sistemas, isto é, um processo de transferência de energia que ocorre mediante diferenças de temperaturas. A temperatura é um parâmetro que descreve o estado de um sistema ou ainda a expressão macroscópica do movimento aleatório das partículas que compõem o sistema. A temperatura é uma variável de estado termodinâmico cujo valor pode ser alterado por outros processos, que não envolvem fluxo de calor. As rupturas de que falamos referem-se não apenas ao conteúdo desses conceitos quando comparados com o conhecimento da realidade cotidiana, mas ainda e sobretudo às formas mediante as quais o conhecimento científico é organizado, validado e comunicado.

Embora o reconhecimento dessas rupturas seja condição necessária ao planejamento e desenvolvimento de estratégias de ensino, ele é ainda insuficiente. A questão crucial que se coloca a esse respeito é: como se dá a passagem de uma forma de conhecimento a outra. Entendemos que essa ruptura se dê por formas intermediárias de entendimento, por compromissos ambíguos e termos que apontam ora numa direção ora em outra.

É fundamental para essa perspectiva o entendimento das concepções alternativas não como um todo amorfo e indiferenciado mas como formas genuínas de compreensão do mundo, dinâmicas e em constante interação com novas informações e acontecimentos (Aguilar, 1995). É possível identificar na gênese desse conhecimento “espontâneo” níveis e formas diferenciadas de compreensão. Encontramos assim, não apenas elementos de distensão, mas também algumas convergências com idéias básicas reconhecidas pelo pensamento científico. Aliás, não poderia ser de outro modo, uma vez que a cultura científica não é exclusiva ao espaço escolar.

Piaget e Garcia(1987) destacam alguns elementos comuns (em que pese as discontinuidades) entre o desenvolvimento do pensamento científico ao longo da história e o desenvolvimento das noções das noções elementares na criança. Tais elementos não se referem à estrutura dos saberes construídos mas ao processo de aquisição de conhecimento. Tanto na psicogênese quanto na sociogênese, os autores identificam formas qualitativamente distintas de compreensão que são engendradas pela atividade dos sujeitos (evidentemente num certo contexto social e submetidos a determinadas pressões, favorecimentos e limitações). Essas formas distintas de compreensão de um mesmo objeto do conhecimento sujeitam-se, segundo os autores, a um padrão comum que consiste em tríades sucessivas que denominam fases INTRA, INTER e TRANS.

No caso particular dos conhecimentos causais³ tais fases correspondem a uma primeira etapa intra-objetal de análise das propriedades e características do sistema; seguida por uma fase inter-objetal, centrada nas relações e transformações; e de uma terceira etapa trans-objetal, que compõe estruturas explicativas mais abrangentes em termos de totalidades. Essas tríades sucedem-se igualmente, sendo o elemento teórico de chegada considerado fonte de novas inquietações e ponto de partida intra-objetal em relação aos elementos progressivamente abstratos, relacionais e inclusivos que a superam. É fundamental ainda destacar que, embora sucessivas, essas formas de conhecimento causal não são inclusivas, isso é, não contêm logicamente os elementos daquelas que as precedem e com frequência negam a validade de certas formulações de partida (o que não ocorre com o conhecimento matemático).

O modelo didático que orientou nossas ações pedagógicas no ensino do tópico “Calor e Temperatura”, junto a estudantes de 8ª série do Ensino Fundamental, consistiu em prover um planejamento de curso que procurasse tirar o máximo proveito possível das concepções dos estudantes, promovendo ao mesmo tempo sucessivas reestruturações em direção a um nível considerado desejável de conhecimento. Esses “patamares pedagógicos” guardam relação com os patamares históricos e psicogenéticos a que nos referimos anteriormente, mas devem diferenciar-se deles, pela intencionalidade que se reveste a ação docente e pelas características peculiares das

³ Piaget e Garcia examinam ainda os conhecimentos matemáticos e postulam a generalidade das tríades como resultado dos processos gerais de construção dos conhecimentos, em particular, do mecanismo das Equilibrações Majorantes, o que constitui um argumento definitivo a favor das teses construtivistas, em oposição ao inatismo e ao empirismo.

aprendizagens escolares.

Convém destacar que, qualquer que seja o nível de conhecimento que se considere, encontraremos nele sempre elementos intra, inter e trans. Os elementos intra referem-se à pergunta “o que é isso?” e dirigem-se ao exame das propriedades e características do objeto a que se dirige o ato de conhecer. Os elementos inter referem-se às relações entre esses elementos e outros já conhecidos, bem como às suas transformações, em resposta à pergunta “como isso funciona?”. Finalmente, os elementos trans dizem respeito às leis e princípios que regem o sistema como um todo, o que garante um esboço de explicação em resposta à pergunta “por que procede dessa forma?”. O que confere um caráter intra, inter ou trans a um dado nível de formulação não é a análise da explicação em si mesma, mas sua relação com os níveis que a precederam e daqueles que a sucedem.

Finalmente, cabe assinalar o fato de que a identificação desses níveis tanto na história das ciências, quanto na psicogênese das noções elementares ou na aprendizagem escolar, é um ato *a-posteriori*. Não é possível prever qual será a próxima teoria, na medida em que se trata de uma construção genuína e não da revelação ou maturação de uma estrutura inata. Se há construção, existe um elemento histórico, temporal. O sujeito do conhecimento, ativo e singular em suas manifestações, em contextos sociais e ambientais também singulares, confere um caráter de imprevisibilidade, de indeterminação às suas realizações (Lajonquière, 1992). A epistemologia genética apenas indica, dentre essas múltiplas possibilidades, uma regularidade que é consequência dos mecanismos gerais que regulam a forma pela qual nós, seres humanos, construímos conhecimentos. Podemos, quando muito, analisá-las *a-posteriori* identificando padrões e afirmando que aquela resposta naquele momento consistia em uma das possibilidades daquele sujeito naquelas circunstâncias. Podemos ainda indicar fatores que favoreceram uma dada produção em detrimento de outras.

Entretanto, do ponto de vista do professor e da atividade docente, essa imprevisibilidade provoca inquietação. A intencionalidade e o compromisso social da educação escolar exige que se elabore um planejamento, um caminho a trilhar. Isso é legítimo e deve ser feito, mas apenas com a condição de guardar a consciência de que aquele caminho é um dentre outros tantos e que, certamente, no curso das interações na sala de aula, outras possibilidades irão se concretizar.

No ensino desse tópico de conteúdo, destacamos quatro níveis de construção. Os três primeiros compõem a tríade a que nos referimos e os dois últimos, os dois primeiros termos de uma nova tríade. Apresentamos a seguir, de maneira sucinta, os quatro níveis e seus elementos organizados em termos das categorias intra (propriedades e atributos), inter (relações e transformações) e trans (modelos explicativos), bem como as relações desses níveis com as atividades propostas no curso.

Nível 1: Lógica dos atributos - calor e frio como entidades opostas que perpassam os materiais.

I.1. Elementos de tipo Intra (Propriedades e Atributos):

Calor e frio são entendidos como atributos absolutos e dicotômicos (um material pode ser frio ou quente; permitir ou impedir a passagem do calor ou do frio).

I.2. Elementos do tipo Inter (Relações e Transformações)

Relações entre calor e seus efeitos (o calor sobe, provoca dilatação de objetos e expansão do ar, se transmite através de metais).

I.3. Elementos do Tipo Trans (Modelos Explicativos e Teorias)

Calor e frio são espécies de fluídos que, como o ar, entram e saem dos materiais.

Esse primeiro nível é arbitrariamente considerado como sendo o ponto de partida, em termos das expectativas que temos quanto às formas de entendimento mais comuns entre adolescentes de 14/15 anos de idade. A superação dessa física de atributos é uma condição necessária para que os estudantes possam apreciar características centrais do pensamento científico moderno. A Física

Aristotélica e mesmo os primeiros avanços de estudos quantitativos realizados no século XVII pela “Accademia del Cimento” (Academia da Experimentação, formada em grande parte por seguidores de Galileu) indicam proximidades de algumas dessas formulações com o conteúdo das noções que indicamos nesse primeiro nível (Wiser e Carey, 1983).

Embora bastante elementar, ele é resultado de construções anteriores, realizadas em espaço extra-escolar, no contato das crianças com processos e fenômenos térmicos, mediados pela linguagem e pela cultura. Erickson e Tiberghien(1985), por exemplo, relatam que crianças de até 5/6 anos de idade não dissociam a fonte de calor e a sensação que provoca e indica por volta de 8/9 anos o início de descrições mais objetivas do aquecimento e resfriamento de materiais. As pesquisas relatadas por Piaget e Garcia (1973) indicam resultados equivalentes.

Nível 2: Calor como fluido material e início de quantificação.

II.1. Elementos de tipo Intra (Propriedades e Atributos):

Materiais têm propriedades de estarem mais ou menos quentes ou mais ou menos frios. Essa propriedade denomina-se temperatura, sendo medida através de um termômetro.

Condutores e isolantes térmicos materiais que deixam ou impedem a passagem de calor (sem quantificação ou graduação dessas qualidades).

II.2. Elementos do tipo Inter (Relações e Transformações):

Efeitos térmicos dependem da intensidade do calor (forte/fraco) e do material (condutor/isolante).

Relações semi-quantitativas com assimilação recíproca das noções de quente e de frio.

II.3. Elementos do Tipo Trans (Modelos Explicativos e Teorias)

Calor como medida intensiva.

Calor substancializado, podendo deslocar-se através dos materiais com maior ou menor dificuldade. Temperatura como medida do calor (podendo ser quente ou fria dependendo do material).

Embora incorreto do ponto de vista teórico e ainda pouco relacional, notamos aqui um grande progresso em relação ao nível precedente. Esse progresso consiste na relativização das noções em jogo e um esboço de quantificação, tão mais notável quando lembramos que não se baseiam em medidas efetivamente realizadas mas num raciocínio que conclui que o mais frio pode ser assimilado como sendo menos quente e vice versa. As atenções deslocam-se do fato do material estar frio ou quente para os processos de aquecimento e resfriamento. Contudo, e apesar desse progresso, esse nível intermediário guarda ainda as relações entre atributos do calor (forte ou fraco) e atributos do material, muitas vezes assimilado como poderes de atração/repulsão ou retenção/absorção do calor. Podemos assim dizer que, quando comparado com o nível anterior e o subsequente, trata-se de um nível predominantemente INTER-OBJETAL.

Em nosso planejamento de ensino, propomos questões no pré-teste e duas atividades introdutórias com o objetivo de problematizar a dicotomia frio X quente e relativizar as sensações de calor e frio. A primeira delas pergunta se um copo de água com gelo fundente pode ser fonte de calor e busca indicar essa possibilidade passando o termômetro desse recipiente para um outro, contendo mistura gelo picado e sal. A segunda atividade discute o papel dos agasalhos: afinal, eles nos aquecem nos dias de frio?

Nível 3: A noção de equilíbrio térmico e as primeiras diferenciações entre calor e temperatura

III.1. Elementos de tipo Intra (Propriedades e Atributos):

Temperatura como estado de quente ou frio de um determinado material.

Condutores e isolantes térmicos.

Sistema e vizinhança; sistema isolado.

III.2. Elementos do tipo Inter (Relações e Transformações):

Equilíbrio térmico enquanto estado final após trocas de calor entre sistemas, sendo caracterizado por uma igualdade de temperaturas.

Sensação calor e frio provocado por troca de calor entre nosso corpo e os materiais

Condutores e isolantes: condutibilidade térmica enquanto expressão semi-quantitativa da capacidade de um material em conduzir calor.

Diferentes materiais podem sofrer diferentes variações de temperatura a partir de uma mesma quantidade de calor transferido. Capacidade térmica enquanto relação entre calor transferido e variação de temperatura.

Diferentes formas de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

III.3. Elementos do Tipo Trans (Modelos Explicativos e Teorias):

Calor como causa de efeitos diversos: mudança de estado físico, dilatação, variação de temperatura, etc.

Calor é algo que se transfere de um corpo a temperatura mais alta para outro a temperatura mais baixa. Transferência de calor implicando em sua conservação.

Calor como fluido imponderável.

Esse patamar de entendimento caracteriza o nível trans dessa primeira tríade e, como veremos, ponto de partida para novas construções (portanto, intra-objetal em relação ao tratamento da termodinâmica). O fato mais notável é a suposição de que as trocas de calor se devem às diferenças de temperatura. Como a absorção de calor provoca aumento de temperatura e sua emissão provoca um abaixamento, as temperaturas tendem a se homogeneizar. Quando isso ocorre, cessam as trocas de calor entre os sistemas, e atinge-se o equilíbrio térmico. Essa “aposta” fundamental caracteriza uma entrada na linguagem e na lógica da Física Térmica tal qual a concebemos. É uma transição difícil, posto que repleta de contra-exemplos (ver por exemplo, Laburu, 1993). Entendemos que essa compreensão exige que sejam explicitadas as condições nas quais o equilíbrio térmico é atingido, por um acordo entre afirmações e negações (situações em que ele ocorre e situações em que isso não acontece). Tais condições são expressas através da noção de “sistema isolado”, isso é, um sistema que não realiza trocas de energia e matéria com a vizinhança.

Em nosso planejamento, essa noção é apresentada logo após as duas primeiras atividades, com um texto que procura introduzir um novo modo de compreender os fenômenos térmicos. Essa nova forma de compreender os fenômenos é fio condutor de todas as demais atividades, e pretende introduzir uma descontinuidade nas formas iniciais de entendimento dos estudantes (Rowell e Dawson, 1985; Scott, 1993). O fato de que os estudantes devem “construir” suas próprias representações acerca dos conteúdos do ensino não significa que devam descobrir por eles mesmos a partir do contato com situações experimentais. Em muitas circunstâncias (pensamos que esse seja um bom exemplo) isso não é possível nem desejável com os tempos que dispomos e da pressão legítima em fazer avançar o conhecimento numa dada direção. O texto a que nos referimos é acompanhado de uma série de questões que buscam auxiliar a compreensão e discussão de suas idéias centrais.

As atividades seguintes buscam ampliar o leque de fenômenos e discutir-los a partir das idéias de equilíbrio térmico, de trocas de calor entre sistemas a diferentes temperaturas e dos efeitos provocados. Tais atividades propunham investigações sobre sensações térmicas de diferentes materiais e a medida da temperatura; processos de transferência de calor (condução, convecção e radiação), transferências de calor nas mudanças de estado físico e aquecimento diferenciado dos materiais. As atividades foram intercaladas por dois outros textos: “Por dentro da geladeira” e “Processos de transferência de calor”.

Nossa expectativa era a de que os estudantes atingissem esse patamar de entendimento ao final desse estudo. As demais atividades foram concebidas como complementares. Convém notar que, embora tenhamos tido o cuidado de não reforçar a idéia de calor como um fluido imponderável (modelo reservatório), essa noção não foi alvo de problematização ou discussão explícita com a

turma, mesmo porque ela consegue interpretar com sucesso a classe de fenômenos até então investigados.

Nível 4: Visão clássica da Termodinâmica

IV.1. Elementos de tipo Intra (Propriedades e Atributos):

Sistema; vizinhança, trocas de energia entre sistema e vizinhança.

Temperatura enquanto variável de estado de um sistema.

IV.2. Elementos do tipo Inter (Relações e Transformações)

Transformações enquanto resultado de interações sistema-vizinhança.

Equivalências entre trocas de energia mediante realização de trabalho e mediante transferência de calor.

Relações entre propriedades macroscópicas do sistema e ocorrências a nível microscópico.

IV.3. Elementos do Tipo Trans (Modelos Explicativos e Teorias)

Calor e outras formas de energia: conservação e degradação da energia. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

Modelo cinético molecular da matéria.

Esse quarto nível de entendimento incorpora os fenômenos térmicos enquanto parte de um processo mais geral de transferências e transformações de energia em que ela ao mesmo tempo se conserva e é degradada. A partir de então torna-se problemática a suposição implícita de que o calor consistiria numa espécie de fluido que perpassa a matéria conservando-se nessas transferências.

Em nosso estudo, esse quarto nível foi abordado de maneira apenas introdutória, de modo qualitativo e abrangente de forma a apontar a direção de estudos posteriores, reservados ao ensino médio. Por essa razão, sua descrição foi também bastante genérica, o que não exclui em absoluto a possibilidade de estender na identificação de novos patamares de entendimento sob essa denominação geral da termodinâmica clássica. A estratégia adotada nesse curso introdutório foi a de uma abordagem histórica com o estudo de alguns dos êxitos e problemas do Modelo do Calórico no século XVIII e XIX, culminando em sua superação em favor de uma Teoria Cinético Molecular e do Princípio Geral de Conservação da Energia.

O aspecto relativo ao modelo de partículas, que já havia sido desenvolvido por esses estudantes no estudo das propriedades e da estrutura da matéria, esteve presente durante todo o desenvolvimento das atividades desse módulo. Assim, os estudantes não tinham dificuldades, e isso desde o pré-teste, em definir temperatura como *“medida do grau de agitação das partículas”* embora fosse difícil conferir a essa definição um valor instrumental para o entendimento dos fenômenos térmicos. Por exemplo, alguns alunos/as, diante de uma figura, apresentada no pré-teste, de um homem transpirando e abanando-se com um leque, perguntavam: *“porque agitando as partículas do ar em nossa direção nos dá a sensação de frio?”* (Bru).

Tais dificuldades reforçam nossa crença na necessidade de um equilíbrio e solidariedade entre elementos do tipo intra, inter e trans na construção do conhecimento físico. As teorias físicas são trans-objetais e impõem a toda observação um quadro prévio de seleção, análise e registro de observáveis. Por sua vez, é a composição desses observáveis entre si que multiplica as relações em jogo e as transformações que lhes são decorrentes. A multiplicação dessas relações, por sua vez, conduz a uma reinterpretação dos modelos explicativos de partida, em virtude de novas perguntas que vão sendo paulatinamente formuladas, engendrando níveis de compreensão qualitativamente diferenciados dos níveis de partida. Na perspectiva de planejamento e desenvolvimento de ensino que adotamos, os três elementos devem estar sempre presentes, indicando uma progressão no sentido de passagens de níveis predominantemente intra-objetais para o inter e daí ao trans-objetal, e assim sucessivamente.

Avaliação e análise de alguns resultados

O curso foi desenvolvido ao longo de 6 semanas, num total de 12 aulas geminadas, com 1 h 30 min cada, em junho/julho de 1997. A dinâmica do trabalho em sala de aula consistia na proposição de situações problemas, de caráter prático-teórico, que eram examinados pelos estudantes em pequenos grupos. O professor⁴ atuava, não apenas direcionando e problematizando as discussões nos grupos, mas ainda no momento de síntese com toda a turma, quando os diferentes pontos de vista deveriam ser confrontados entre si. Especial atenção foi dada à construção de um modelo para os fenômenos térmicos de maior generalidade e consistência interna. Além das atividades, o material do aluno continha pequenos textos, cuja leitura era feita em sala de aula após as discussões ou recomendada como tarefa extra-classe. Cada texto era acompanhado de questões com o objetivo de verificar o nível de entendimento das idéias apresentadas e a capacidade de utilizá-las em outros contextos.

No desenvolvimento da unidade, adotamos várias estratégias de avaliação: pré e pós-teste, avaliação continuada do desenvolvimento das atividades de aprendizagem, duas avaliações individuais com questões para análise e interpretação e um “diário de bordo” em que os estudantes, semanalmente, escreviam acerca do que haviam aprendido, como avaliavam o andamento dos trabalhos (inclusive em termos de seu envolvimento pessoal). Não pretendemos descrever com detalhes os instrumentos utilizados, mas apenas indicar algumas considerações acerca dos impactos dessa abordagem de ensino.

Nossa primeira constatação refere-se à dificuldade, muito maior do que imaginávamos, do grupo em superar interpretações baseadas na existência do frio enquanto categoria ontológica explicativa ou como estado da matéria oposto ao calor. Cerca de um terço dos estudantes da turma (10 num total de 32) produziu interpretações desse tipo em diferentes momentos de avaliação do curso. Assim, a passagem do nível intra para o nível inter-objetual, com a quantificação e relativização dos observáveis, mostrou-se tão árdua quanto a construção de modelos teóricos mais abrangentes. Assim, por exemplo, Lud ao explicar as transferências de energia na condensação de vapor d’água afirma *“quando o vapor d’água entra em contato com a superfície de um copo com gelo, este transmite calor para a superfície fria que irá produzir gotículas de água. E a superfície fria irá transmitir frio para o vapor quente, que assim irá esfriar”*. Bre diz que *“a garrafa térmica isola tanto calor como frio. Ela possui partes ou seja ‘mecanismos’ que evitam qualquer perda de calor”*. Essa mesma aluna explica diferenças de sensação no contato com pisos de ardósia ou de carpete por que *“os pisos de ardósia retêm frio, por isso quando pisamos temos essa sensação. Ele perde pouco calor, já o carpete, fica em equilíbrio com o ambiente.”* Bru prevê que uma pequena pedra e uma grande barra de gelo retiradas do freezer têm a mesma temperatura *“por que são produzidos de um mesmo material e se encontravam em um mesmo ambiente”*. Ao ter sua resposta assinalada na primeira correção da avaliação, reafirmou *“se o material de produção dos dois cubos de gelo fossem diferentes, eles não possuiriam temperatura igual”*.

Apesar dessas dificuldades, esses mesmos alunos/as demonstraram, em outras ocasiões, progressos nas explicações e interpretações dadas aos fenômenos. Apenas incluíam, como faz Lud explicitamente, uma reciprocidade nas transferências de frio e de calor. A ambigüidade dos níveis intermediários de conhecimento e seus compromissos ora com idéias que julgávamos já superadas, ora com aquelas com que pretendíamos avançar, parece ser uma característica típica das mudanças que ocorrem ao longo das aprendizagens escolares.

Concordamos com Villani e Orquiza (1997, p.94) quando esses autores afirmam que a *“existência de fases de desenvolvimento cognitivo dos estudantes é muito atrativa, mas geralmente choca com a evidência experimental de avanços e retrocessos e, principalmente de caminhos não lineares.”* De modo semelhante ao estudo realizado por esses autores, relativos ao desenvolvimento

⁴ A unidade foi desenvolvida pelo autor do trabalho, com a presença do professor da turma (Rodrigo ...) em todos os momentos do curso.

das representações sobre colisões, encontramos também situações de assimilações parciais seguidas de abandono mais ou menos local. A nosso ver, o problema da mudança dos modos de pensar dos estudantes deve ser colocado em termos de **possibilidades** abertas ao pensamento, mas que não constituem necessariamente uma **atualização** em contextos específicos que demandam uma ação por parte do estudante. Tal interpretação seria compatível com a introdução e desenvolvimento de novas zonas no “perfil conceitual” dos estudantes (Mortimer, 1995).

A complexidade e não linearidade das aprendizagens em curso podem ser exemplificadas pela análise a uma das questões propostas na primeira avaliação formal do curso. Seu enunciado era bastante simples: *“Por que são diferentes as sensações ao tato por pisos de ardósia e pisos revestidos com carpete?”*. Havíamos realizado uma atividade (vide anexo) em que as diferentes sensações térmicas provocadas ao tato por um bloco de madeira e outro de alumínio eram discutidas a partir da previsão e avaliação de suas temperaturas. Indicamos e comentamos abaixo algumas das respostas dadas a essa questão:

“São diferentes as sensações, pois a ardósia é formada de um material frio por natureza, já o carpete é formado de um material quente, com temperatura estável.” (Mat)

“Por que a ardósia absorve menos calor, daí fica mais fria que o carpete que absorve mais calor. Então quando estamos pisando em um carpete e passamos para um chão de ardósia acontece um pequeno choque térmico.”(Pri)

“As sensações são diferentes, pois a ardósia não conduz bem o calor, deixando-a ‘mais frias’. Já os pisos revestidos de carpetes conduzem o calor melhor e por isso ficam ‘mais quentes’.”(Gle)

“As diferenças que podemos sentir dizem respeito a transferência de calor que haverá entre nosso corpo e os dois corpos indicadas pelo tato. No piso de ardósia sentiremos um choque térmico devido à sua baixa temperatura até que se adeqüe à temperatura do nosso corpo enquanto que o carpete será uma fonte de calor.”(Raph)

“Porque os materiais são diferente e recebem calor diferente. O calor que o tato transmite para a ardósia é maior porque é transmitido para todo o material. Já o carpete recebe menos calor do tato porque só as partículas superficiais se aquecem” (Car).

A primeira resposta indica a manutenção do esquema de calor e frio enquanto atributos absolutos, típicas do nível 1. Entretanto, as demais envolvem raciocínios mais elaborados, com a presença não apenas de um esquema conceitual, mas da relação entre vários deles. A última interpretação, da aluna Car, aproxima-se de uma formulação científica que envolve a compreensão articulada de pelo menos quatro esquemas:

Esquema 1: O tato avalia transferências de calor entre o nosso corpo e o objeto que tocamos e não a temperatura na qual esse objeto se encontra.

Esquema 2: Os materiais diferem quanto à capacidade de condução ou propagação do calor.

Esquema 3: Ao absorver ou emitir calor um material sofre variações de temperatura, exceto nas transições de estado físico.

Esquema 4: As transferências de calor, provocadas pela desigualdade de temperaturas, ocorrem até que se atinja o equilíbrio térmico.

As respostas dadas por Pri e Gle indicam outra relação de esquemas. Eles partem da premissa de que “ao conduzir calor o material se aquece”(esquema alternativo 1) ; “a ardósia é fria” (esquema alternativo 2); logo “a ardósia não conduz bem o calor quando comparada com o carpete” (esquema alternativo 3). O esquema alternativo 1 contrapõe-se com o esquema 3 (resultado de uma indiferenciação entre conduzir e absorver calor); o esquema alternativo 2 contrapõe-se com o esquema 1 (o tato avalia, segundo o senso comum, o estado térmico do material); o esquema alternativo 3 coincide com o esquema 2 (as condutibilidades térmicas dos materiais apresentam-se

invertidas pela interpretação dada pelos dois outros esquemas alternativos). Finalmente, o esquema 4 não foi sequer evocado por Pri e Gle ao interpretarem a situação proposta. De fato, como vimos, tal hipótese é extremamente contra intuitiva. Já o aluno, Raph produz uma resposta diferenciada. Ele nega o equilíbrio térmico entre os materiais envolvidos (piso de ardósia e carpete no interior de uma casa), embora indique uma concordância em relação ao esquema 1.

Vemos assim, que uma questão trivial do ponto de vista de quem já domina os termos de uma teoria, torna-se extremamente complexa e fonte de indeterminação quando das formas de entendimento produzidas por estudantes que convivem com muitos outros esquemas conceituais (provenientes de suas interações informais com o mundo físico e social) sem uma tomada de consciência em relação às compatibilidades, incompatibilidades, complementaridades ou identidades de uns em relação a outros. As aprendizagens escolares não envolvem, portanto, a assimilação de uma única idéia, mas a construção de uma rede de relações. O estudante pode assimilar uma nova idéia produzindo através dela novas relações e uma nova estrutura conceitual, como também pode incorporá-la às suas crenças anteriores (o que envolve menor esforço e um resultado que pode ser compreendido como satisfatório).

Tais resultados evidenciam o fato de que os elementos utilizados para compor o planejamento e a gestão dos conteúdos do ensino não se traduzem necessariamente em processos de aprendizagem correspondentes. Assim, os “patamares pedagógicos” apontam para um possível caminho para a aprendizagem, e prevê estruturas de suporte e condução do processo de modo que os estudantes possam efetivamente progredir na direção desejada. Entretanto, a natureza dos processos de aprendizagem sustentam a imprevisibilidade como uma de suas características fundamentais (Lajonquière, 1992).

De que fatores dependem o curso e a rota de tais aprendizagens? Em primeiro lugar, é preciso assinalar que alguns elementos das situações propostas pelo ensino acabam por conduzir o estudante a uma direção distinta do que poderia fazer em situações mais prototípicas. Assim, boa parte dos estudantes se mostravam capazes de reconhecer o equilíbrio térmico como resultado das transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas, mas falharam em reconhecê-lo quando os corpos envolvidos indicavam sensações muito distintas ao tato. Em lugar de problematizarem a própria sensação térmica, como esperávamos, fizeram o oposto: utilizaram-na como marco assimilador da experiência, modificando e deformando todos os outros elementos. De modo compatível com nossos resultados, Villani e Orquiza (1997, p. 93) sugerem que a rapidez da assimilação depende fortemente das características das situações analisadas, que podem ser mais ou menos *transparentes* devido a presença de *distratores* a elas associados.

Os *distratores* cumprem um papel paradoxal. De um lado, fazem regredir as explicações dos estudantes a níveis considerados já superados. Por outro, evidenciam os elementos de *novidade* do pensamento científico em relação aos *modos de pensar* do senso comum. Segundo Cafagne (1996, p. 3), uma das razões da pouca efetividade da aprendizagem em ciências decorre do fato de serem as informações escolares insuficientes para o reconhecimento de tais novidades. Nesse sentido, situações prototípicas permitem constituir, em sala de aula, *ressonâncias* apenas aparentes entre os modos de pensar da ciência e do senso comum.

As aprendizagens escolares resultam assim de uma tensão permanente entre aproximações (*ressonâncias*) e afastamentos (*obstáculos*). A comunicação entre esses dois modos de conhecer – científico e de senso comum - não seria possível se o ensino não se valer de *ressonâncias*, mesmo que locais e aparentes. De outro lado, o enfrentamento de conflitos e a superação de obstáculos parece ser condição para o reconhecimento das novidades. Cafagne expressa o sentido dessa tensão: “*se a explicação científica se aproximar dos modos de pensar do senso comum, ela ‘convence’, tem sentido para o aluno, mas pode não caracterizar avanço, uma vez que reforça seus modos de pensar. Por outro lado, se ela se distancia, pode resultar em barreiras e assim passar despercebida.*” (Cafagne, 1996, p. 149). Em um curso introdutório à física térmica, a relativização das sensações térmicas parece constituir-se o grande obstáculo a superar.

Outro aspecto marcante em nossos resultados aponta para a enorme diversidade de ritmos e processos de aprendizagem dos alunos/as. Alguns estudantes (cerca de 1/3 do total) se mostraram refratários ao reconhecimento das novidades, com condutas tipicamente ? (Piaget, 1976) frente às perturbações. Nesse caso, o progresso consistiu apenas no enriquecimento dos observáveis de uma dada situação física (por exemplo, passaram a descrever a “produção do frio” na geladeira como propriedade do gás que circula em sua tubulação). Tais alunos/as mantiveram modos de pensar ditados pelas sensações térmicas do calor e o frio, embora esse tivesse sido um dos focos de atenção do curso. Admitiam a hipótese do equilíbrio térmico como sendo resultado de “trocas de calor”, frio e quente, entre os objetos .

Outros estudantes, pelo contrário, deram sinais de mudanças muito mais significativas e profundas. Podemos identificar tais progressos nas perguntas feitas por alguns desses alunos/as ao longo do processo. Assim, por exemplo Dan e Leo, ao discutirem o problema das temperaturas do corpo humano, procuraram saber “*o que acontece se a temperatura do ar for maior do que a temperatura do corpo*”, o que indica a compreensão do sentido do fluxo de calor e a identificação de novos problemas. Segundo esses estudantes, “*se o nosso corpo estivesse absorvendo calor do ambiente, seria impossível não ter elevação de temperatura*”. Tais contribuições demandaram investigações a propósito do papel da transpiração e o estudo de trocas de calor por evaporação. Em outros casos, o progresso foi identificado quando os estudantes indicavam capacidade de aplicação dos conceitos em outros contextos. Assim, por exemplo, um dos grupos (formado pelas alunas Fab, Car, Fer, Fla e Bre), ao examinar a possibilidade de um copo com gelo fundente poder ser considerado fonte de calor (o que era investigado transferindo-se um termômetro de um copo com gelo picado e sal para o copo com gelo fundente), concluiu que isso ocorria também quando um pote de sorvete, recém retirado do freezer, é colocado na geladeira para ser servido com uma consistência mais cremosa. Nesse caso, concluíam “*o ar ‘frio’ da geladeira é fonte de calor para o pote de sorvete, que está a uma temperatura mais baixa*”. A comparação entre pré e pós teste permitiu ainda identificar mudanças significativas e consistentes nas situações apresentadas⁵. Isso pode ser exemplificado na produção de um dos alunos, Rob, ao falar sobre a geladeira. No pré-teste, ele afirmava que “*a geladeira, com ajuda da eletricidade, fornece energia para alimentos e líquidos baixando suas temperaturas, o que os deixa mais frios e conservados*”. No pós-teste, reformulou sua resposta: “*o motor da geladeira busca energia na rede elétrica e, por todo um processo, faz com que o gás chamado freón, rouba calor dos materiais dentro da geladeira, o que garante que estejam frios e conservados.*”

O que há de comum entre esses estudantes que tiveram um progresso conceitual mais efetivo? Nos parece que a resposta a essa questão encontra-se em sua disposição em examinar seus próprios pontos de vista, confrontá-los com o dos colegas e com as informações dadas pelo professor. Além disso, demonstravam preocupação em comparar os resultados de uma situação com outras, em lugar de tratá-las de modo isolado. Os fatores determinantes dessa postura nos parecem ser decorrentes daquilo que Pintrich, Max e Boyle (1993) denominam *fatores motivacionais e fatores contextuais da sala de aula*. Esses autores apontam para “*dificuldades teóricas de modelo de mudança conceitual que foca apenas nos aspectos cognitivos, sem considerar os modos pelos quais as crenças dos estudantes sobre si mesmos como aprendizes e os papéis dos indivíduos numa comunidade de aprendizagem em sala de aula podem facilitar ou bloquear as mudanças conceituais.*”

⁵ O teste era composto de seis situações cotidianas , representadas por figuras, que deveriam ser comentadas pelos alunos utilizando-se dos conceitos de calor e temperatura para descrever e explicar o que está ocorrendo. Na primeira situação, uma pessoa está em em uma cozinha, preparando alimentos no fogão e com uma geladeira ao fundo. Na segunda situação, um menino coloca pedras de gelo em um copo com suco. Na terceira, uma pessoa transpira e se abana em dia de calor. Na quarta, outra figura indica pessoa com agasalhos, tremendo e esfregando as mãos em dia de frio. Na quinta situação, um garoto tem diferentes sensações quando pisa com os pés des calços no ladrilho do banheiro e no carpete de seu quarto. Na última figura, indicamos uma foto do Planeta Terra.

Ainda segundo Pintrich et alli (1993), o engajamento cognitivo é uma escolha dos estudantes, numa gama de tarefas escolares. Em seu trabalho, procuram indicar como fatores cognitivos, fatores contextuais de sala de aula e fatores motivacionais são intrinsecamente relacionados. Os fatores motivacionais serviriam como mediadores entre os contextos de ensino e o engajamento cognitivo que ele demanda, enquanto os fatores contextuais agiriam como moderadores, favorecendo ou, pelo contrário, bloqueando o engajamento dos estudantes na aprendizagem. Nesse sentido, os fatores motivacionais são derivados de um conjunto de crenças e interpretações dos estudantes a eventos locais, em contextos específicos. Apontam para a necessidade de investigações sobre como os fatores motivacionais são criados, moldados ou confinados pelos vários aspectos no contexto da sala de aula.

Uma das variáveis motivacionais destacadas por esses autores refere-se às *crenças epistêmicas* dos estudantes, isso é, conjunto de valores pelos quais os estudantes julgam adequados para aprender determinados conteúdos em dadas circunstâncias. Assim, “*as motivações epistêmicas provêm os mecanismos psicológicos para iniciar, guiar e cessar o trabalho cognitivo de desenvolver e testar hipóteses*” (Pintrich et alli, 1993, p.179).

Nos diários de bordo e em várias conversas informais ao longo do curso, os estudantes manifestaram uma preferência por atividades práticas, no sentido de fazer coisas novas, executar projetos e acompanhar fenômenos. Entretanto, logo se desinteressavam quando tinham que discutir o sentido dos resultados encontrados, refletir sobre a melhor maneira de comunicar suas conclusões e, especialmente, ouvir os colegas e professor para compor uma solução negociada a cada problema apresentado. Interpretamos tal recusa como decorrência de uma *crença implícita* de que a realização de atividades práticas era suficiente para o aprendizado em ciências. Outros estudantes reclamaram ainda da ausência de “*explicações claras*” do professor em lugar do trabalho em grupos que “*acabam criando tumultos*”. Vemos assim que a motivação dos estudantes e seu envolvimento com o trabalho é resultado de um jogo complexo nos quais as expectativas dos estudantes freqüentemente colidem com as intenções e propostas do professor.

Kempa e Martin-Diaz (1990) sugerem que diferentes estudantes têm *estilos de aprendizagem* distintos o que acarreta a necessidade de uma maior variabilidade das atividades propostas pelo ensino. O estilo de aprendizagem predominante na turma poderia ser descrito como *realizador*. Entretanto, as atividades e a proposta do curso eram predominantemente *reflexivas* e apontavam para um estilo “social” que certamente não predominava no grupo. Isso explica, ao menos parcialmente, condutas pouco favoráveis às aprendizagens que pretendíamos promover, o que diminuiu os impactos do ensino na promoção de mudanças mais significativas em um bom número de estudantes.

Por sua vez, tais estilos de aprendizagem são fortemente influenciados por significados implícitos atribuídos à aprendizagem como indica o trabalho de Lorschach e Tobin (1995). A partir desse estudo, nos parece mais conveniente caracterizar os estilos de aprendizagem como concepções acerca da aprendizagem escolar cultural e socialmente construídas e, portanto, passíveis de transformações e negociação. Tal interpretação é mais próxima ao referencial sócio-interacionista proposto por Pintrich et alli (1993). Sua aceitação acrescenta uma demanda ao trabalho docente em conquistar uma adesão (não apenas racional mas também afetiva) à proposta de curso que apresenta e desenvolve com seus estudantes. Como toda negociação, tal postura envolve concessões e não apenas convencimento ou cooptação.

Mudanças conceituais e cognitivas no ensino de ciências: uma utopia?

Existe um descompasso entre as expectativas que temos em relação ao ensino de ciências e seus resultados em termos da qualidade e extensão das aprendizagens. Nos frustramos toda vez que

os estudantes estabelecem compromissos intermediários mantendo boa parte das concepções prévias que gostaríamos de ver definitivamente superadas.

Qual é a real extensão desse descompasso? Em que medida devemos rever nossas metas? Elas podem traduzir ainda o apelo, tão caro à educação, em promover mudanças, em gerar uma nova qualidade nos instrumentos e nas formas de entendimento de que o sujeito dispõe ao interagir com as realidades da vida contemporânea?

Sem querer desconhecer alguns aspectos do problema, acreditamos que ele decorre, ao menos parcialmente, de uma postura marcada pela obsessão ao controle, à obtenção de resultados definitivos, sem ambigüidades e com a clareza própria do discurso científico, a demonstrar que o estudante de fato aprendeu o que lhe ensinamos. Ora, ao fazer isso, queremos controlar o que é, em essência, incontrolável. Queremos evidenciar o caráter ativo das aprendizagens, mas não reconhecemos o caráter processual das mesmas. Assim, cristalizamos os resultados expressos em alguns instrumentos de avaliação e os tomamos como definitivos. Tratamos de modo absolutamente racional os processos de aprendizagem dos estudantes, que sabemos ser permeados de emoções, tensões e escolhas pessoais em contextos específicos da sala de aula.

Tais resultados nos levam a afirmar a complexidade intrínseca da aprendizagem humana, entendendo por complexidade fenômenos históricos, irreversíveis, imprevisíveis e indeterminados. Os sujeitos da aprendizagem, os estudantes nos bancos escolares, tal como a cidade e a célula, citados por Prigogine e Stengers (1997/1984: 102) são sistemas *“que vivem de sua abertura, alimentam-se do fluxo de energia e matéria que lhes vêm do mundo exterior (...) separados de seu meio, morrem rapidamente, pois são parte integrante do mundo que as nutre, constituem uma espécie de encarnação, local e singular, dos fluxos que elas não cessam de transformar”*. É no seio dessas *“estruturas dissipativas, nome que traduz a associação entre a idéia de ordem e a de desperdício”*(p. 114) que devemos localizar as aprendizagens escolares. Elas são reguladas por processos, mecanismos e submetem-se a leis gerais de funcionamento (cuja expressão identificamos com a Teoria da Equilíbrio de Piaget). Entretanto, tais mecanismos não garantem senão uma gama de possibilidades nas transformações que efetuam. Conforme Lajonquière (1992), o construtivismo piagetiano conduz a uma anti-pedagogia se por pedagogia entendermos a meta da determinação e do controle, por oposição ao processo ativo e construtivo do conhecimento humano.

Em uma analogia com os diagramas de bifurcações utilizados por Prigogine e Stengers (p. 123) para descrever pontos de instabilidade em transformações metabólicas complexas que envolvem auto-catálise e auto-inibição, as aprendizagens humanas (e dentre elas aquelas realizadas em ambiente escolar) também aparentam limiares críticos que introduzem elementos irredutíveis de incerteza a partir de uma certa distância do equilíbrio, o que não nos permite prever, dentre as várias possibilidades abertas ao sistema, para qual delas ele evoluirá. Isso dependerá, dizem os autores, *“da natureza da flutuação que vier efetivamente desestabilizar o sistema instável e se amplificar até realizar um dos estados macroscópicos possíveis.”*

Se essa interpretação for correta, podemos dizer que os estudantes, quando envolvidos de fato com situações perturbadoras (do seu ponto de vista, posto que as perturbações o são em relação a um dado sujeito) deflagram uma série de transformações em suas formas de conhecimento que podem conduzir a regiões de instabilidade. Por sua vez, tais instabilidades são pontos de abertura a novas possibilidades de transformação.

Por outro lado, as mudanças que acompanhamos ao longo do processo referem-se mais a compreensão da natureza do empreendimento científico do que a compreensão articulada de um dado nível de entendimento acerca desse ou daquele conceito físico. Elas mostraram-se especialmente significativas quando os estudantes revelam surpresa em admitir que calor, temperatura, energia e tantos outros conceitos da física, são invenções humanas, modos de comunicar, prever, explicar e interpretar fenômenos, produzidos historicamente e continuamente transformados. Nesse sentido, podemos falar de mudanças cognitivas, entendendo cognição como processo de construção de significados. Essas mudanças nas formas de entendimento envolvem

certamente a compreensão de conceitos (em níveis progressivamente abstratos e generalizados), mas não se restringem a eles, uma vez que referem-se ainda aos significados da ciência e da atividade científica, dos processos de validação e produção de conhecimentos, de suas aplicações e impactos na vida contemporânea.

Do ponto de vista estritamente conceitual avaliamos que os progressos foram menores do que aqueles que esperávamos. Parte das dificuldades podem ser explicadas pelo pequeno envolvimento do grupo com o tipo de atividade proposta, uma vez que elas envolviam uma quantidade menor de manipulações e construções do que eles esperavam encontrar nos seus primeiros estudos de Física. Os desencontros em torno das expectativas e demandas de professor e alunos/as, as mudanças insuficientes no planejamento inicial em razão dessas demandas foram, talvez, fatores determinantes do caráter muitas vezes rotineiro que acabou se instaurando em algumas das atividades desenvolvidas em sala de aula. Por outro lado, podemos identificar em alguns estudantes, repostas que não guardam compromisso com um único nível de entendimento, o que remete à não linearidade das aprendizagens escolares.

Os patamares de entendimento, elaborados por ocasião do planejamento e desenvolvimento das atividades do curso, não podem ser entendidos como rota necessária e padronizada ao desenrolar das aprendizagens dos estudantes. Ensinar significa, antes de mais nada, indicar caminhos para a aprendizagem. Entretanto, como vimos, não existe um único caminho, uma única via. Os conceitos científicos encontram-se dispostos em rede. Não se trata portanto de aprender um único conceito ou esquema mas de coordená-lo com outros, compondo estruturas cada vez mais complexas. O planejamento e desenvolvimento das atividades ao longo do ensino de um tópico de conteúdo aposta em um dos inúmeros caminhos e possibilidades de construção dessa rede. Tais escolhas não podem significar o enquadramento e a limitação de outras possibilidades. Assim, por exemplo, acabamos por alterar o desenvolvimento do curso ao depararmos com o interesse por parte de alguns estudantes acerca dos processos de regulação da temperatura corporal no corpo humano. A partir dessas questões produzimos posteriormente outra unidade temática (“Regulações Térmicas nos Seres Vivos”) introduzindo, a partir de outro contexto (a nosso ver, mais rico e relacional) os conceitos básicos da física térmica.

As etapas de construção de conceitos, em termos dos elementos de caráter intra, inter e trans-objetal, e a progressão das mesmas ao longo do processo são expressão dos mecanismos funcionais de construção de conhecimentos e não a um caráter estrutural dos mesmos. Sendo assim, não estabelecem qualquer contradição com a imprevisibilidade e a indeterminação próprias do ato de ensinar e aprender. Apenas acrescentam a essa incerteza elementos de inteligibilidade, de compreensão que nos permitem agir no sentido de aumentar as possibilidades de encontros significativos entre professor e alunos/as, entre conhecimento científico e conhecimento da vida cotidiana, entre saber escolar e saber social. Entretanto, como em qualquer outra forma de planejamento, uma vez efetuado, pode conduzir à cristalização de certas opções, a partir de então tomadas como pseudo-necessárias. As vantagens da utilização desse modelo reside no fato de explicitar as formas de entendimento que se pretende alcançar, bem como algumas das possíveis formas intermediárias de compreensão que possam indicar um sentido e uma progressão nas formas de entendimento ao longo das atividades propostas.

Nesse sentido, planejar o ensino de um tópico de conteúdo de ciências envolve: 1. O reconhecimento das formas de entendimento prévio dos estudantes; 2. A demarcação do que se pretende ensinar e do nível de compreensão que se pretende promover; 3. A indicação de níveis intermediários de compreensão que possam indicar um sentido e uma progressão nas formas de compreensão ao longo das atividades; 4. O planejamento de atividades e instrumentos de mediação que permitam: colocar desafios, por em questão novos problemas, introduzir novas informações, indicar caminhos para a solução dos problemas e incrementar a reflexão; 5. O reconhecimento dos diferentes esquemas conceituais envolvidos nos desafios propostos; 6. A flexibilidade do planejamento inicial em função dos interesses, expectativas e características do saber prévio dos estudantes; 7. A compreensão da complexidade intrínseca aos processos de aprendizagem, o que

põe em evidência sua imprevisibilidade; 8. O gerenciamento da sala de aula enquanto comunidade de aprendizagem, em suas múltiplas tensões, afastamentos e aproximações.

Nesse sentido, aos referenciais inicialmente formulados pelo modelo proposto, referentes ao gerenciamento do conteúdo do ensino, devemos acrescentar outro conjunto de exigências relativas ao gerenciamento da sala de aula, o que remete a fatores contextuais e motivacionais que sustentam o engajamento cognitivo dos estudantes. Desse modo, às três perguntas básicas decorrentes do modelo proposto - *O que é isso? Como funciona? e Por que funciona assim?* – devemos acrescentar uma quarta, relativa a aspectos não estritamente cognitivos: *para que eu devo saber isso?*

Por fim, o currículo de ciências, para tornar-se compatível com esse modelo de ensino, deve transformar-se urgentemente em pelo menos três características (Doll, 1997). Em primeiro lugar, deve ser um currículo recursivo, de forma a permitir que o aluno/a se depare, em diferentes momentos de sua formação, com certos conceitos fundamentais em diferentes níveis de complexidade e em diferentes contextos. Tal característica do currículo permite uma maior adequação entre os tempos de aprendizagem (não padronizados e imprevisíveis) e os tempos de ensino (sujeitos às normas e limites institucionais). Em segundo lugar, deve ser um currículo relacional, não apenas entre conceitos de um dado campo disciplinar das ciências, mas que permita um diálogo efetivo entre as vivências dos estudantes, os conceitos científicos e seus impactos na sociedade. Em terceiro lugar, deve ser um currículo rico, que permita a abertura a novas possibilidades de entendimento, que ofereça um amplo leque de possibilidades, cujas realizações, mesmo que sempre inferiores àquelas que haviam sido inicialmente indicadas, concretizam-se no sabor das instabilidades, das flutuações e dos encontros.

Bibliografia

- AGUIAR JR., Orlando (1995). *Mudança Conceitual em sala de aula: o ensino de ciências numa perspectiva construtivista*. Dissertação Mestrado, CEFET-MG, 1995.
- AGUIAR JR., Orlando e FILOCRE, João (1999). Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: fundamentação e diretrizes de pesquisa. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 1, n. 1: 47-67.
- AGUIAR JR., Orlando (1999). As Três formas da Equilibração: análise do material didático de um curso de eletricidade básica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 1: 72-91.
- BACHELARD, Gaston (1996). *A formação do espírito científico: contribuição a uma psicanálise do conhecimento*. Tradução Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto (original publicado em 1938)
- CAFAGNE, Anildes (1996). *Concepções em Termodinâmica: o Senso Comum e o Conhecimento Científico*. Tese de Doutorado, São Paulo, Faculdade de Educação da USP.
- CERUTI, Mauro (1996). O mito da onisciência e o desafio da complexidade. Trad. Agneta da Silva Giusta. Publicação original em: *La sfida della complessità*, CERUTI, M. e BOCCHI, G., Milano: Feltrineli Editori.
- DOLL, Jr. William (1997). *Curículo: uma perspectiva pós-moderna*. Trad. Maria Adriana V. Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas.
- DRIVER,R. ASOCKO,H. LEACH,J. MORTIMER,E. & SCOTT,P. (1994) - Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7): 5-12.
- ERICKSON, G. and TIBERGHIE, A., (1985). Calor y temperatura. In: DRIVER, GUESNE and TIBERGHIE, A. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- GUIDONI,P.(1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, v. 7, n.2: 133-140.

- KARMILOFF-SMITH, A e INHELDER, B. (1975). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, v. 3, n. 3: 195-212.
- KEMPA, R. F. e MARTIN DIAZ, M.(1990). Motivational traits and preferences for different instructional modes in science. *International Journal of Science Education*, v.12, n.2: 195-203.
- LABURU, Carlos Eduardo(1993). *A Construção do conhecimento em Sala de Aula*. Faculdade de Educação, USP. Tese de Doutorado.
- LAJONQUIÈRE, Leandro(1992). Acerca da Instrumentação prática do Construtivismo: a (anti) pedagogia Piagetiana, ciência ou arte? *Caderno de Pesquisa*, 81: 61-66.
- LIMA, M. Emilia C. AGUIAR Jr. Orlando & BRAGA, Selma M.(1997). A construção de um currículo de Ciências para a 5ª a 8ª séries do Ensino Fundamental: um trabalho de parceria FaE – Centro Pedagógico. *Anais do I Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências*. Águas de Lindóia, p. 357-365.
- LORSBACH, A. and TOBIN, K.,(1995). Toward a Critical Approach to the Study of Learning Environments in Science Classrooms. *Research in Science Education*, v. 25, n. 1: 19-32.
- MORTIMER, Eduardo F. (1995) - Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v. 4: 267-285.
- MORTIMER, Eduardo F. (coord.) (1996). *Introdução ao Estudo da Química: Propriedades dos Materiais, Reações Químicas e Teoria da Matéria*. CECIMIG – UFMG.
- PIAGET, J. & GARCIA R. (1987). *Psicogênese e História das Ciências*. Trad. Maria F.M.R. Jesuino. Lisboa, D. Quixote (original publicado em 1983).
- PIAGET, J & GARCIA, R. (1973). *Las explicaciones causales*. Tradução Elena Póliza. Barcelona, Barral Editores.
- PIAGET, J. (1976). *Equilíbrio das Estruturas Cognitivas*. Trad. Marion M.S. Penna. Rio de Janeiro, Zahar.
- PIAGET, J. (1983). *Psicologia da Inteligência*. Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 2ª edição brasileira (original publicado em 1967).
- PINTRICH, Paul MAX, Ronald & BOYLE, Robert (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, v. 63, n. 2: 167-199.
- POZZO, Juan I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- PRIGOGINE, Ilya & STENGERS Isabelle(1997) *A Nova Aliança: Metamorfose da Ciência*. Trad. Miguel Faria e Marai Joaquina M. Trinciera. Brasília: Editora da UnB, 3ª ed. (original publicado em 1984).
- ROWELL, J. & DAWSON, C. (1985) - Equilibration conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3: 331-334.
- SANTOS, Maria Eduarda (1989). *Mudança Conceitual na sala de aula: um desafio pedagógico*. Lisboa: Livros Horizontes.
- SCOTT, P.H., (1993). Overtures and Obstacles: teaching and learning about air pressure in a high school classroom. *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- VILLANI, Alberto e ORQUIZA (1997). Evolución de las Representaciones Mentales sobre Colisiones. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 15, n. 1: 91-102.
- VYGOTSKY, L.S. (1991) - *A Formação Social da Mente*, Trad. José Cipolla Neto. São Paulo, Martins Fontes, 4ª ed. (original parcialmente publicado em 1960 na URSS).

WISER, M. e CAREY, S.(1983). When Heat and Temperatures Were One. In: *Mental Models* GENTNER. and STEVENS (editors). London: Lawrence Publishers.

Recebido em: 12.10.98

Aceito em: 13.09.99