

**MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS COGNITIVAS: UM
INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO DO ENSINO E A
AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS**

Orlando Gomes de Aguiar Júnior

**MODELO DE ENSINO PARA MUDANÇAS COGNITIVAS: UM
INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO DO ENSINO E A
AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM EM CIÊNCIAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação em Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. João Antônio Filocre Saraiva

Belo Horizonte
Faculdade de Educação
2 0 0 1

Aguiar Júnior, Orlando Gomes de

A282 Modelo de ensino para mudanças cognitivas : instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências / Orlando Gomes Aguiar Júnior. - Belo Horizonte : UFMG/ FaE, 2001.

294 f.

Tese – Doutorado em Educação

Orientador: Prof. Dr João Antônio Filocre Saraiva.

1. Ciências – Estudo e Ensino – Teses 2. Planejamento educacional. 3. Aprendizagem – Avaliação. 4. Construtivismo (Educação) I. Título. II. Saraiva, João Antônio Filocre. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Educação.

CDD – 372.35

Catálogo da Fonte : Biblioteca da FaE/UFMG

Agradecimentos

Este trabalho resultou de um esforço coletivo de pesquisa e intervenções no ensino de ciências no âmbito da Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG e no contexto de produção de subsídios para inovações curriculares para a Rede Estadual de Ensino de MG. Certo de que o fazer pedagógico se realiza em grupos de trabalho e pesquisa, agradeço e compartilho este trabalho com os amigos Carmen, Helder, Maria Emília, Nilma e Selma. A esta, devo agradecer não apenas o fato de ter-me aberto sua sala de aula, permitindo que a investigássemos juntos, mas sobretudo os ensinamentos de uma prática pedagógica reflexiva, firme e comprometida.

Nos seus aspectos teóricos, tive a companhia sempre provocativa e estimulante do Prof. Dr. João Filocre Saraiva, meu orientador, desde o primeiro esboço das idéias que desenvolvemos, em conjunto, até os momentos finais de redação da tese. A ele agradeço pela competência, amizade, confiança e respeito com orientou este estudo.

Aos colegas do Setor de Física Colégio Técnico da UFMG – Arnaldo Vaz, Oto Borges e Tarciso Borges – do Setor de Ciências da Faculdade de Educação – Maria Emília Lima, Eduardo Mortimer e Silvânia Nascimento –, sou grato pelas leituras, discussões e sugestões. Eduardo e Silvânia assumiram, ainda, meus encargos docentes no último ano, o que me permitiu dedicação total à pesquisa. Agradeço ainda aos membros da banca de qualificação – Jesuína Pacca, Tarciso Borges e Eduardo Mortimer – pelas valiosas contribuições. Não poderia deixar de registrar meus agradecimentos ao Prof. Luis Otávio Amaral, do Departamento de Química do ICEX/UFMG, pelas conversas e leituras acerca da história da termodinâmica e ao Prof. Francisco Lopez de Prado, mestre de todas as horas.

Devo à Profa. Maria Lúcia Brandão Freire de Mello a competente revisão de linguagem no texto final da tese e à Marta Bouissou Moraes, a tradução dos textos citados. Registro, ainda, a valiosa colaboração dos alunos bolsistas do Programa de Iniciação Científica do CNPQ, Amanda Amantes Neiva e Sidnei Honório Marques dos Santos.

À Laurinha, incansável companheira, sem cujo afeto, atenção e apoio teria sido impossível realizar essa tarefa, e a Alice e Marcelo, meus filhos, pela compreensão e paciência e, mais ainda, pela alegria, que dá sentido à vida.

A todos vocês, e a muitos outros tantos amigos, muito obrigado.

À memória de meus pais, Orlando e Lucí, e de meu irmão Mauro.

A meus filhos, Alice e Marcelo, e a Laurinha, companheira e amiga.

Sumário

Introdução	01
1. Justificativa.....	03
2. Objetivos.....	07
3. Formulação do Problema.....	07
4. Metodologia de Pesquisa.....	08
5. Estrutura da Tese.....	10
Capítulo 1 – Revisão Bibliográfica	12
1.1. Estudos sobre Mudanças Cognitivas na Educação em Ciências.....	12
1.1.1. Sobre a Natureza das Mudanças.....	14
1.1.2. A Progressão das Formas de Entendimento dos Estudantes.....	29
1.2. Estudos sobre Concepções dos Estudantes na Introdução à Física Térmica.....	38
1.3. Estudos de Propostas Didáticas para a Introdução à Física Térmica.....	51
Capítulo 2 – Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Fundamentação Teórica	65
2.1. Princípios para uma Pedagogia Construtivista.....	67
2.2. Análise Epistemológica dos Conteúdos do Ensino.....	75
2.3. Análise Psicológica dos Processos de Aprendizagem.....	86
Capítulo 3 – O Planejamento do Curso “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”	92
3.1. O Educador e a Ação de Planejar o Ensino.....	93
3.2. Compondo o Cenário: Por um Currículo Temático, Integrado e Recursivo.....	96
3.3. Justificando Escolhas.....	103
3.3.1. Pertinência da Temática.....	103
3.3.2. Níveis de Abordagem dos Conteúdos da Física Térmica.....	107
3.3.3. Conteúdos da Unidade e suas Relações.....	114
3.3.4. Patamares Pedagógicos no Desenvolvimento dos Conteúdos da Unidade.....	117
3.4. O Planejamento do Currículo em Ação.....	120
3.4.1. Desenvolvendo o Contexto e seus Atores: Escola, Professores e Alunos.....	121
3.4.2. Atividades Realizadas e seus Propósitos.....	126
3.4.3. O Fazer e Refazer do Planejamento no Curso das Práticas.....	136
Capítulo 4 – Avaliação da Aprendizagem: Instrumentos para Levantamento e Análise de Dados	148
4.1. Considerações Metodológicas: Coleta e Análise de Dados.....	148
4.2. Instrumentos de Avaliação da Aprendizagem.....	151
4.2.1. Pré e Pós-Teste.....	153
4.2.2. Teste 1.....	156
4.2.3. Atividades Extraclasse.....	158
4.2.4. Teste 2.....	159
4.2.5. Entrevista Final.....	162
4.3. Níveis de Entendimento e Patamares Pedagógicos.....	165
4.4. Redefinindo Níveis de Entendimento a partir da Análise de Dados.....	167
Capítulo 5 – Redefinindo o Ensino a partir de Alguns Indicadores de Aprendizagem: Examinando Alguns Casos	186
5.1. Critérios Utilizados na Seleção da Mostra.....	186
5.2. Quadro Geral do Desenvolvimento Conceitual dos Estudantes.....	188
5.3. Examinando Trajetórias: Alex (1º Caso).....	197
5.3.1. Análise do Pré-teste.....	197
5.3.2. Análise do Pós-teste.....	200
5.3.3. Análise das Avaliações.....	203
5.3.4. Análise dos Dados da Entrevista.....	209
5.3.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem.....	217
5.4. Examinando Trajetórias: Fabiana (2º Caso).....	223
5.4.1. Análise do Pré e Pós-teste.....	224
5.4.2. Análise das Avaliações.....	229
5.4.3. Análise dos Dados da Entrevista.....	235
5.3.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem.....	237

5.5. Examinando Trajetórias: Leonardo (3º Caso).....	240
5.5.1. Análise do Pré-teste.....	241
5.5.2. Análise do Pós-teste.....	245
5.5.3. Análise das Avaliações.....	246
5.5.4. Análise dos Dados da Entrevista.....	252
5.5.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem.....	254
5.6. Examinando Trajetórias: Renato (4º Caso).....	257
5.6.1. Análise do Pré-teste.....	257
5.6.2. Análise do Pós-teste.....	260
5.6.3. Análise das Avaliações.....	260
5.6.4. Análise dos Dados da Entrevista.....	260
5.6.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem.....	267
Considerações Finais	270
1. Modelo de Ensino: Reflexões a partir dos Resultados da Pesquisa.....	270
2. Ensinar e Aprender: Encontros e Tensões.....	274
3. Modelo de Ensino e Desenvolvimento Profissional de Educadores.....	278
Referências Bibliográficas	281

Anexos

Anexo 1. Unidade Temática “Regulação Térmica nos Seres Vivos”.....	A-01
Anexo 2. Relação Preliminar de Conteúdos Conceituais da Unidade.....	A-37
Anexo 3. Mapa dos Conceitos da Unidade.....	A-40
Anexo 4. Patamares Pedagógicos da Unidade.....	A-41
Anexo 5. Estrutura das Aulas do Curso.....	A-44
Anexo 6. Atividades Complementares para Aula Extraturno.....	A-59
Anexo 7. Instrumento de Pré e Pós-teste.....	A-60
Anexo 8. Teste 1.....	A-61
Anexo 9. Teste 2.....	A-62
Anexo 10. Protocolo para Entrevista.....	A-66
Anexo 11. Avaliação da Unidade de Ensino.....	A-68
Anexo 12. Questionário: Estratégias de Aprendizagem e Visão de Ciências.....	A-69

LISTA DE FIGURAS, QUADROS E GRÁFICOS

Figura 1 – Mapa de Concepções (Dykstra, Boyle & Monarch, 1992).....	31
Figura 2 - Representação de níveis sucessivos de conhecimento na forma de fractais.....	80
Quadro 1 – Três dimensões de mudanças na aprendizagem em ciências (Pozo & Gómez Crespo, 1998)	36
Quadro 2 – Patamares pedagógicos do curso “Eletricidade através de experiências”.....	81
Quadro 3 – Evolução dos níveis de entendimento dos alunos da turma.....	190
Quadro 4 – Distribuição das mudanças nos níveis de entendimento da turma.....	194
Gráfico 1 – Distribuição dos níveis de entendimento ao longo das avaliações.....	191
Gráfico 2 – Evolução dos níveis de entendimento ao longo das avaliações.....	192
Gráfico 3 – Evolução conceitual da turma.....	194

Resumo

O objetivo desta pesquisa é a fundamentação teórica e a validação empírica de um modelo construtivista para o ensino de ciências. Considerando as etapas sucessivas de construção de conhecimentos causais, segundo as tríades intra, inter e trans-objetais (Piaget e Garcia, 1984), este modelo propõe instrumentos para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências.

Utilizou-se este referencial no planejamento e na avaliação de um curso introdutório à física térmica voltado para estudantes de 8ª série do Ensino Fundamental, tendo-se em vista o estudo das “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”. A partir de uma análise dos conteúdos do ensino e dos processos de aprendizagem, elaboraram-se categorias que permitiram organizar o curso em níveis crescentes de complexidade. Examinaram-se ainda, os movimentos alternados de reflexão e ação quando de sua implementação prática.

As mesmas categorias foram utilizadas como referência para a avaliação da aprendizagem. Examinou-se, em detalhe, a trajetória cognitiva de quatro alunos, visando-se destacar a evolução das formas de entendimento ao longo do curso e, em função de indicadores de aprendizagem, desenvolver uma reflexão sobre o ensino.

Os resultados preliminares são favoráveis na medida em que o modelo de ensino: 1. oferece instrumentos para organização de ensino de modo compatível com os processos de aprendizagem que se pretende promover; 2. permite diversificar as metas de aprendizagem, favorecendo progressões diferenciadas, conforme os interesses e as habilidades dos estudantes; 3. propicia uma reflexão sobre o ensino, com base no reconhecimento da evolução das estruturas de pensamento dos estudantes.

Abstract

This study intends at discussing the theoretical basis of a constructivist model for the teaching of science and at the same time its empirical validation. The teaching model departs from the theory of causal knowledge building proposed by Piaget and Garcia (1984), according to which the focus of individual's theories shifts from intra-object attributes to inter-object relations and, finally to higher order relationships, named trans-object phase. The model consists of instruments for the planning of instruction and for assessment of learning.

An instructional unity on thermal physics was developed according to the model and used with students of year 8 in the study of "Thermal Regulation Processes in Living Beings". Departing from a set of categories based on considerations of the structure of the content subject and of the learning processes, the teaching unity was organised following a sequence of increasing complexity. A posture of alternating between reflecting and acting was carefully adopted so as to respond to the adaptations required resulting during application.

The same categories are used to assess learning outcomes. The learning trajectories of four students are examined in detail during the whole course, seeking for evidences indicating progression in their forms of understanding. We expected to develop learning landmarks from such analysis.

Findings indicate the model (i) offers valuable instruments for organising instruction compatible with learning processes that it intends to promote; (ii) allows the teacher to adopt a diversity of teaching aims so as to promote differentiated progressions according to individual interests and skills of their students; (iii) incentives reflection on teaching and learning by recognising the evolution of students' thinking.

ANEXOS

Introdução

O construtivismo tem sido identificado como a mais influente tendência de pesquisa e de inovações educacionais na área de ensino de ciências (DUIT, 1993; FENSHAM, GUNSTONE & WHITE, 1994). A imagem de que o conhecimento é ativamente construído pelo aprendiz e não apenas transmitido pelo professor e passivamente apreendido é hoje um lugar comum tanto entre pesquisadores quanto no discurso de boa parte dos educadores.

Talvez o principal impacto das orientações construtivistas se manifeste no desvio da atenção, antes dirigida aos métodos de ensino, entendidos como técnicas capazes de ensinar com eficiência, para os processos de aprendizagem. O olhar do educador dirige-se, assim, para as potencialidades e as dificuldades dos estudantes em sua interação com os conteúdos escolares. Segundo OGBORN (1997), o construtivismo educacional insistiu corretamente em quatro pontos essenciais: 1. a importância do envolvimento ativo do aprendiz; 2. o respeito pelo aprendiz e por suas próprias idéias; 3. o entendimento da ciência como criação humana; 4. orientação para o ensino no sentido de capitalizar o que os estudantes já sabem e dirigir-se às suas dificuldades em compreender os conceitos científicos em função de sua visão de mundo.

As pesquisas de orientação construtivista, embora tenham provocado um impacto indiscutível nas concepções e práticas em ensino de ciências, demonstram lacunas, equívocos e reducionismos que têm sido alvo de críticas recentes (MILLAR, 1989; SOLOMON, 1994; MATTHEWS, 1992; OSBORNE, 1996). Do nosso ponto de vista (AGUIAR JR, 1998), tais fragilidades decorrem de quatro problemas, a saber: 1. a imprecisão teórica de parte desses estudos em relação às fontes utilizadas; 2. a pretensão ingênua de constituir-se em uma teoria geral que pudesse informar toda a pesquisa em ensino de ciências; 3. a redução dos problemas educacionais às suas dimensões psicológicas; 4. a passagem direta do plano epistemológico para o pedagógico, como se a aprendizagem escolar seguisse, necessariamente, os mesmos passos da construção histórica do conhecimento científico.

Entre as lacunas que têm sido identificadas nas pesquisas de orientação construtivista, destacam-se a questão dos mecanismos que regulam as aprendizagens e o problema do ordenamento das dificuldades relativas aos conteúdos de ciências, questão

central para o desenvolvimento de currículos (OSBORNE, 1996). Além disso, o problema considerado crucial por tais abordagens, ou seja, a aprendizagem escolar concebida como processo de mudanças conceituais, permanece sujeito a várias interpretações e apresenta resultados ambíguos quanto à efetividade das mudanças almejadas. De qualquer modo, não é trivial a passagem de teorias sobre conhecimento e aprendizagem para teorias ou princípios que orientem uma prática pedagógica consistente.

Faço parte de um grupo de pesquisa em ensino que tem procurado extrair da obra de Piaget implicações e desdobramentos de uma concepção construtivista dos processos de aprendizagem ao ensino de ciências, de maneira a fornecer respostas a questões como as enumeradas anteriormente. Para tanto, temos nos esforçado em aliar o rigor teórico em relação às suas formulações originais com a necessidade de considerá-las em função dos problemas específicos do ensino de ciências. Buscamos, ainda, coordenar as contribuições dessa abordagem com outros resultados e perspectivas de pesquisas em educação em ciências, evitando a pretensão de que o construtivismo piagetiano venha a constituir-se em uma espécie de metateoria da pesquisa educacional. É necessário acrescentar que nos ocupamos especialmente dos trabalhos realizados pela Escola de Genebra na década de 70, período no qual Piaget realiza estudos dirigidos aos aspectos funcionais da construção do conhecimento, aspectos estes que nos parecem implicar importantes desdobramentos para a educação escolar (SARAIVA, 1991).

Em minha dissertação de Mestrado analisei os impactos de conceitos derivados da epistemologia e da psicologia genéticas sobre o problema da mudança conceitual em sala de aula no contexto da educação em ciências (AGUIAR JR., 1995). Apontei, a propósito, a necessidade de se compreender a aprendizagem escolar como processo prolongado no tempo, mediado pela ação e pela intervenção docente e construído sobre uma dialética entre continuidades e rupturas do pensamento científico em relação ao pensamento de senso comum, que permeia as concepções espontâneas dos estudantes em suas estratégias de resolver problemas colocados pela realidade cotidiana.

Entendendo-se as mudanças que acompanham a aprendizagem escolar em ciências como processo gradual, em que as estruturas de conhecimento existentes são continuamente enriquecidas, reorganizadas e reestruturadas (VOSNIADOU & IOANNIDES, 1998), coloca-se a necessidade de conceber o ensino a fim de conectar o mundo das experiências pessoais dos estudantes com o mundo habitado pelos

constructos da ciência. Ao reconhecer as diferenças entre esses dois planos – o cotidiano e o científico –, convém considerar, no planejamento de currículos e de estratégias de ensino, modos intermediários de entendimento, que promovam uma progressão nas interpretações dos estudantes acerca dos fenômenos físicos, em termos de conhecimentos de maior ordem (LIJNSE, 1995; LEMEIGMAN & WEIL-BARAI, 1994; DYKSTRA, BOYLE & MONARCH, 1992; TIBERGHIE, 1998). Tais preocupações levaram-nos a conceber um modelo de ensino¹, cujas proposições consistem, basicamente, em orientações gerais destinadas a organizar e planejar a intervenção docente de modo compatível com os mecanismos que regem os processos de aprendizagem.

Esta pesquisa pretende, pois, configurar elementos empíricos e teóricos em direção a uma validação desse modelo. No que se refere aos aspectos teóricos, trata-se de fundamentar tal modelo de ensino em uma sólida base epistemológica e psicológica, que tem como ponto de partida a obra de Piaget, mas que se alimenta de uma interlocução constante com a produção recente da pesquisa em ensino de ciências. Do ponto de vista empírico, buscamos identificar limites e possibilidades desse modelo enquanto instrumento para o planejamento, desenvolvimento e avaliação de cursos de ciências. Isso será feito no contexto de um módulo didático de introdução à física térmica na Escola Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG.

1. Justificativa

A expressão “modelo de ensino” pode comportar interpretações diversas, o que nos obriga a precisar o sentido que lhe é dado no âmbito deste trabalho. Partimos de uma conceituação de PARRA (s.d., p. 12), para quem os modelos de ensino constituem “quadros interpretativos que orientam a definição de um certo tipo de ensino, com base em pressupostos teóricos específicos”. De modo semelhante, na apresentação de um número temático da revista ASTER sobre “Modelos Pedagógicos”, BAZAN (1993) afirma:

¹ O modelo foi originalmente concebido por mim e pelo Prof. João Filocre Saraiva durante disciplina “Mudança Conceitual na História e no Ensino de Ciências” que oferecemos no Curso de Especialização em Ensino de Ciências, no 2º semestre de 1996. O modelo foi apresentado por Filocre em conferência no XII SNEF, em janeiro de 1997 e, posteriormente, em artigo na Revista Ensaio (AGUIAR JR. & FILOCRE, 1999).

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

É importante distinguir esse modo de conceber os “modelos de ensino” do sentido usualmente conferido aos “modelos” em ciências e matemática. Neste trabalho, o modelo é entendido como modo de ajustar ações práticas no campo do trabalho pedagógico, a partir de uma determinada abordagem teórica. Não temos, portanto, a intenção de desenvolver um modelo teórico para os processos de mudança cognitiva, como os recentemente formulados no âmbito da psicologia cognitiva (VOSNIADOU, 1994; CHI, SLOTTA & DE LEEUW, 1994; NIEDDERER & SCHECKER, 1992), mas propor modos de conceber e conduzir intervenções didáticas compatíveis com formulações desenvolvidas a partir da Teoria da Equilibração. 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 do que um modelo para explicar, é um modelo para agir ou, mais exatamente, é um modelo para agir na compreensão de como se age.” (p.203)

A indiferenciação entre “modelos de aprendizagem” e “modelos de ensino” é apontada por SOLOMON (1992, p. 117) como decorrente de desencontros entre as perspectivas de pesquisadores e de professores acerca da atividade de planejar e desenvolver cursos de ciências. De um lado, a pesquisa tem apontado para modelos que descrevem a aprendizagem e explicam por que o ensino tem falhado, mas são insuficientes ao propor uma ação didática efetiva. De outro, na perspectiva do ensino e dos professores, o que importa é dar um sentido à direção escolhida para o desenvolvimento dos conteúdos. Para compor o planejamento de seus cursos, os professores podem se valer de resultados de pesquisas sobre aprendizagem; contudo, segundo a autora, seu conhecimento tático provê influências muito mais marcantes no modo como desenvolvem suas lições. Solomon entende que os modelos apresentados pela pesquisa em educação em ciências constituem modelos de aprendizagem e tratam apenas indiretamente das questões relativas ao ensino.

Ao situar a complexidade da ação docente, podemos destacar o planejamento como instância fundamental intermediária entre o conhecer e o atuar. Entretanto, mesmo nesse âmbito mais restrito, encontramos-nos diante de uma multiplicidade de

dimensões, que envolvem contribuições da sociologia da educação, da psicologia da aprendizagem, da epistemologia, da história da ciência, da estrutura formal do saber a ser ensinado e da didática. Evidentemente, seria um equívoco pensar que um modelo de ensino poderia ser capaz de configurar todas essas variáveis. No entanto é possível avançar em direção a um modelamento dessa complexa atividade apoiando-se em compromissos gerais relativos aos processos de construção de conhecimento.

Um modelo de ensino assentado em princípios construtivistas pretende orientar teoricamente a ação docente, no sentido de permitir um entendimento mais abrangente dos processos de aprendizagem que ele visa promover. Deve, pois, ser geral o bastante para adequar-se às várias circunstâncias e orientações curriculares, mas suficientemente preciso no sentido de conferir princípios estruturadores à intervenção didática. Nessa perspectiva, o modelo distingue-se 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 a orientam.

Assim, 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, num ciclo constante de reflexões e ações. Para FILOCRE et al. (1996), a ação docente envolve o equilíbrio entre o “saber fazer”, orientado para o sucesso da ação nas variadas circunstâncias em que irá atuar, e o “compreender a ação”, implicando não apenas uma análise dos conteúdos do ensino como também as razões que fundamentam os meios que serão utilizados para promover uma aprendizagem duradoura e significativa. Desse equilíbrio, resulta o saber prático orientado por razões teóricas e o saber teórico, operativo em situações práticas.

Essa definição de modelo de ensino comporta algumas restrições ao que se pode qualificar como sua validação empírica, no âmbito das práticas. Pelo exposto, não faria sentido estabelecer, como critério de validação do modelo, o resultado da aprendizagem que, em última instância, se pretende promover. Esse tipo de validação seria incompatível com as características do modelo, porquanto aberto a uma ampla gama de possibilidades de ação. Além disso, dado o caráter circunstancial de um único estudo empírico, resultariam dúbias suas conclusões.

Entendemos que a validação empírica do modelo deve se orientar por sua finalidade, qual seja, a de promover e qualificar as reflexões sobre os processos de ensino e aprendizagem em ciências no âmbito do planejamento, desenvolvimento e avaliação de um curso concebido a partir de seus pressupostos. Por essa via, teremos oportunidades fecundas de apreciar suas possibilidades e limites. Outro modo de fazê-lo consiste em examinar a consistência e a generalidade de suas proposições e sua adequação no âmbito das práticas com as quais se pretende dialogar.

Por meio do modelo de ensino que iremos desenvolver e investigar, pretendemos aproximar e ajustar as estratégias de ensino aos processos de aprendizagem. A pesquisa educacional dispõe, hoje, de um amplo referencial teórico, que concebe o conhecimento como processo contínuo e progressivo de estruturação e reestruturação das informações disponíveis, que ocorre por meio de níveis qualitativamente distintos de compreender a realidade e agir sobre ela. Entretanto, o planejamento, a organização e o desenvolvimento de estratégias de ensino têm sido largamente orientados segundo uma concepção de conhecimento que procede segundo uma lógica cumulativa de informações atomizadas. Um dos principais fundamentos do modelo de ensino consiste em propor a elaboração de níveis de entendimento progressivos, baseados nas tríades sucessivas intra, inter e trans-objetais propostas por PIAGET & GARCIA (1984). A hipótese central é a de que, por essa forma de organizar o ensino e o currículo, aumentam as possibilidades de progresso dos estudantes no entendimento das ciências, na medida em que se reduz o *gap* entre as formas iniciais de conhecimento e as que se pretende promover por intermédio do ensino, de modo contínuo e recursivo.

Buscamos evidenciar, ainda, a natureza das relações entre o ensinar e o aprender, examinando convergências e sintonias, embora reconhecendo suas tensões, que LIJNSE (1995) qualifica como liberdade para aprender *versus* direção ao ensinar. Ensino e aprendizagem são sistemas que operam de modo distinto, o que determina um ajuste constante entre suas exigências. Partimos, então, da hipótese de que as relações entre ensino e aprendizagem são intrinsecamente complexas e nem sempre harmônicas, pautando-se por tensões e oposições, ricas e fecundas em certas ocasiões, fonte de desentendimentos e desencontros em outras.

2. Objetivos

Esta pesquisa pretende:

1. Propor e fundamentar um modelo de ensino para mudanças cognitivas, com base em pressupostos epistemológicos e psicológicos construtivistas, voltado para o planejamento de estratégias de ensino e para a avaliação da aprendizagem.
2. Examinar as possibilidades e a adequação de se organizarem os conteúdos do currículo de ciências segundo níveis sucessivos de entendimento que se pretende promover, a partir das categorias intra, inter e trans-objetais propostas por PIAGET & GARCIA (1984).
3. Examinar as possibilidades e a adequação de acompanhar, avaliar e monitorar a aprendizagem a partir desses mesmos instrumentos;

3. Formulação do Problema

Os problemas centrais da pesquisa consistem em: 1. oferecer uma fundamentação teórica sólida ao Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas e 2. examinar suas possibilidades como instrumento para análise e organização de conteúdos escolares e para avaliação de seqüências didáticas em ciências. Tais problemas desdobram-se em outros, a saber:

1. É possível construir um modelo geral para o planejamento do ensino de ciências que seja suficientemente claro no sentido de orientar o trabalho pedagógico e, ao mesmo tempo, aberto no sentido de adequar-se às dimensões específicas dos sujeitos da aprendizagem e dos conteúdos do ensino?
2. Que questões centrais devem ser consideradas no planejamento do ensino e na organização de materiais didáticos, orientados segundo uma perspectiva construtivista do conhecimento e da aprendizagem, a fim de se promoverem mudanças nas formas de compreensão dos estudantes? Que competências profissionais estão envolvidas no planejamento de um tópico de conteúdo de ciências?
3. Que parâmetros devem ser utilizados ao se hierarquizarem as dificuldades e demandas cognitivas dos estudantes ao longo do currículo?

4. Os patamares pedagógicos, ou níveis de complexidade no tratamento dos conceitos, ao longo do curso, têm correspondência direta com os níveis de entendimento dos estudantes no processo de aprendizagem?
5. O modelo de ensino oferece instrumentos adequados para o reconhecimento, em situações de aprendizagem em ciências, dos padrões e estruturas de pensamento dos estudantes e de sua evolução ao longo das interações em sala de aula?
6. O modelo proposto favorece as mudanças que se pretende promover nas formas de entendimento dos alunos relativas aos conceitos envolvidos e às representações que elaboram acerca do conhecimento científico?

4. Metodologia de Pesquisa

As várias questões levantadas por esta pesquisa demandam abordagens metodológicas diversas. Uma primeira orientação metodológica a ser considerada tem um caráter mais teórico, visando fortalecer o modelo proposto pelo relacionamento do processo de formação de conceitos com os vários mecanismos funcionais propostos por Piaget – teoria da equilibração, desenvolvimento das explicações causais, tomadas de consciência, abertura dos possíveis e construção do necessário, abstrações e generalizações, coordenações entre afirmações e negações. Além disso, faz parte desta pesquisa o exame de várias propostas de ensino e aprendizagem em ciências, de orientação construtivista. Pretendemos, com isso, sustentar o modelo proposto com base em problemas e resultados levantados pelas pesquisas em ensino de ciências nas últimas décadas.

A validação desse modelo, com o objetivo de identificar a adequação de seus instrumentos para a organização de conteúdos escolares em seqüências didáticas e para o reconhecimento da evolução de padrões e estrutura de pensamento dos estudantes em situações de ensino e aprendizagem em ciências, é examinada a partir do acompanhamento de um módulo didático, concebido a partir de seus pressupostos, em uma turma da Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG. O módulo escolhido, “Regulação Térmica nos Seres Vivos”, a nosso ver, exemplifica intenções curriculares mais gerais de que faz parte, segundo uma abordagem temática e integrada para o ensino de ciências. Seu caráter inovador potencializa as reflexões que iremos desenvolver a propósito dos conteúdos do ensino e das metas de aprendizagem propostas para a educação básica em ciências. Por outro lado, ao abordar conteúdos

ligados à física térmica, podemos destacar um elenco de contribuições realizadas no âmbito da pesquisa em educação em ciências, que apontam não apenas para possíveis alternativas, mas sobretudo para o exame de vários problemas relativos à aprendizagem de seus fundamentos básicos. Nesse caso, as reflexões gerais sobre o ensino e a aprendizagem em ciências cedem lugar a reflexões mais específicas ligadas à didática de um de seus conteúdos.

Os dados para a análise do desenvolvimento das formas de compreensão dos alunos em relação aos conteúdos abordados pela unidade foram coletados por meio de diversos instrumentos, estabelecendo-se sempre uma interpolação e triangulação de dados, de modo a evitar análises superficiais ou enganosas sobre os processos de aprendizagem em foco. Para a coleta de dados, utilizamos: 1. instrumentos de pré e pós teste; 2. testes individuais escritos; 3. observações informais em sala de aula; 4. gravação sistemática das aulas; 5. entrevistas após o desenvolvimento da unidade de ensino. Tais instrumentos de avaliação, bem como os cuidados metodológicos que os acompanham, são objeto de análise específica. Nossa intenção foi a de propiciar reflexões sobre o ensino com base em indicadores de aprendizagem dos estudantes, o que nos levou a optar pelo estudo de casos, acompanhando a trajetória cognitiva de alguns estudantes ao longo da unidade.

5. Estrutura da Tese

O trabalho é composto por cinco capítulos, além de uma introdução e considerações finais. Optamos por aprofundar a discussão metodológica nos capítulos em que são justificados os instrumentos específicos e desenvolvida a análise de dados.

O primeiro capítulo é composto por uma revisão bibliográfica de estudos realizados no âmbito da educação em ciências, relativos a três temas nos quais nos apoiamos tanto para a formulação do modelo de ensino em questão quanto para sua efetivação no planejamento do curso. Em primeiro lugar, destacamos os estudos mais abrangentes, que examinam questões referentes às mudanças conceituais no ensino e aprendizagem em ciências. Nesta primeira seção, ressaltamos, sobretudo, o problema da progressão das aprendizagens, aspecto central na formulação do modelo de ensino proposto, e as discussões acerca da natureza das mudanças que acompanham, em especial, a aprendizagem em ciências. Nas seções seguintes, procedemos à revisão dos

trabalhos relativos às concepções dos estudantes sobre calor, energia e temperatura e sobre estratégias de ensino de tópicos de física térmica em nível elementar.

O segundo capítulo é dedicado à fundamentação teórica do modelo de ensino proposto, destacando-se as dimensões epistemológicas e psicológicas que o fundamentam. Formulamos alguns princípios gerais para uma pedagogia construtivista e avaliamos suas repercussões na prática docente. Propomos, ainda, instrumentos para uma análise epistemológica dos conteúdos do ensino, e sua utilização no planejamento e avaliação de seqüências didáticas. Estabelecemos uma distinção entre aspectos epistemológicos e psicológicos na obra piagetiana, e tecemos considerações sobre o ensino a partir de princípios decorrentes dos processos de aprendizagem.

O terceiro capítulo é voltado para questões relacionadas ao planejamento de um módulo didático na perspectiva do modelo de ensino proposto. Nele, apresentamos uma concepção de planejamento e suas relações com o desenvolvimento profissional de educadores, situamos o módulo de ensino enfocado no bojo de um movimento de reformas curriculares de que faz parte e, sobretudo, destacamos e justificamos as escolhas realizadas à luz do modelo de ensino em discussão e do contexto das circunstâncias das interações com os estudantes.

No quarto capítulo, são tratados os instrumentos de avaliação da aprendizagem e as reflexões metodológicas que orientaram a definição deles e a análise dos dados. Apresentamos e exemplificamos os níveis de entendimento dos estudantes ao longo da unidade de ensino, situando-os em relação aos patamares pedagógicos, discutidos no capítulo anterior.

No quinto capítulo, apresentamos os dados relativos aos processos de aprendizagem e, a partir deles, estabelecemos considerações e reflexões sobre o ensino. Em um primeiro momento, apresentamos uma análise geral do desenvolvimento conceitual de toda a turma para, em seguida, ressaltar, mais detidamente, as trajetórias cognitivas de quatro estudantes. Dessa forma, foi possível aprofundar a análise do modelo de ensino e discutir sua adequação para a promoção e a avaliação dos processos de aprendizagem dos alunos.

Nas considerações finais, defendemos a necessidade de se diferenciarem os elementos do ensino e da aprendizagem de modo a examinar mais detidamente suas relações. Destacamos, ainda, algumas das possíveis repercussões do modelo de ensino para prática docente no contexto das reformas educacionais em curso e para o desenvolvimento profissional de educadores.

Capítulo 1 – Revisões Bibliográficas

Neste capítulo, iremos analisar a produção da pesquisa em educação em ciências, considerando três aspectos fundamentais para o desenvolvimento do presente trabalho. Em primeiro lugar, examinamos os estudos mais gerais, que investigam a natureza dos processos de mudança que caracterizam a aprendizagem em ciências. Além de indicar que tais mudanças envolvem aspectos que ultrapassam largamente o plano estritamente conceitual, iremos destacar as pesquisas que apontam na direção de uma progressão dos níveis de abordagens dos conteúdos do ensino, de modo a favorecer e suportar mudanças. Nas duas seções seguintes, tratamos de estudos relativos à aprendizagem de conteúdos da física térmica. Uma delas é dedicada às pesquisas sobre concepções dos estudantes acerca desses conteúdos e, na outra, apresentamos as proposições didáticas, fundamentadas e documentadas pela pesquisa, para seu desenvolvimento em sala de aula.

1.1. Estudos sobre Mudanças Cognitivas na Educação em Ciências

O tema da promoção de mudanças acompanha, normalmente, os debates em torno de projetos educativos, não apenas no nível social, mas também no nível dos indivíduos. De fato, a educação pode ser entendida como ação capaz de desencadear mudanças nos sujeitos educandos, visando equipar as novas gerações de um conjunto de valores, competências e conhecimentos que os habilitem a exercer plenamente a condição de sujeitos criativos nos marcos da cultura e da sociedade de que fazem parte.

Na educação em ciências, os modelos de ensino voltados para a promoção de mudanças são relativamente recentes, o que pode ser explicado pela forte influência positivista em todos os âmbitos de organização e gestão do ensino. Essa perspectiva conduziu a uma visão dos processos de aprendizagem em ciências como resultado de associação gradativa e seqüencial de informações, que nada teria a ver com as formas primitivas de entendimento das crianças.

Esse quadro altera-se profundamente a partir do final da década de 70, quando se passou a considerar seriamente a influência das idéias e noções prévias dos estudantes na apropriação de conceitos e teorias científicas. A pesquisa em educação em ciências, inspirada por estudos construtivistas no campo da filosofia das ciências e da psicologia cognitiva, obteve um amplo repertório de conhecimentos sobre as concepções dos

estudantes, o que levou a conceber os processos de aprendizagem em ciências como resultado de “mudanças conceituais”. Desde então, vários estudos foram realizados, visando não apenas precisar o sentido das mudanças almejadas, como também destacar condições para sua ocorrência. O relativo fracasso de iniciativas destinadas a promover a mudança conceitual em sala de aula conduziu a um amadurecimento desse campo de pesquisa, com o levantamento de novas questões para investigação, a busca de fundamentos teóricos mais adequados e a proposição de modelos diversos para lidar com a complexidade dos processos de aprendizagem escolar.

Em estudo anterior (AGUIAR JR., 1995), destaquei as principais questões desse debate, inserindo-as no marco de uma interpretação piagetiana dos processos de mudança conceitual em sala de aula. Nessa oportunidade, reafirmei a dialética entre continuidades e rupturas nos processos de mudança, o que me levou a postular a necessidade de se considerar a heurística positiva dos modelos espontâneos de raciocínio, expandindo ao limite suas potencialidades e, ao mesmo tempo, concebendo estratégias voltadas para a superação dos obstáculos que os impedem prosseguir em direção aos modelos científicos. Do mesmo modo, afirmei serem falsas e improdutivas as contraposições entre os fatores endógenos da auto-regulação e os fatores culturais da mediação social, tomados como aspectos complementares e irreduzíveis das aprendizagens no campo das ciências naturais.

Em lugar de retomar todas essas questões, objetivando atualizá-las com a produção da pesquisa nos últimos anos, iremos nos reportar a alguns desses trabalhos, não de forma exaustiva, mas respondendo a duas questões centrais para o desenvolvimento da presente pesquisa. Em primeiro lugar, iremos destacar as diversas posições quanto à natureza dos processos de mudança que acompanham a aprendizagem em ciências. A abrangência dos fatores e aspectos destacados nesses estudos permitem considerar a expressão “mudança conceitual” insuficiente e restritiva, embora amplamente utilizada por diversos autores, bem como precisar o sentido da expressão “mudança cognitiva”, que passamos a utilizar ao longo desta pesquisa.

Num segundo eixo da revisão, destacamos os estudos que consideram a questão da progressão dos níveis de entendimento dos estudantes, com a proposição de “formas intermediárias” entre os níveis de partida dos estudantes e as metas de aprendizagem da educação em ciências. Como veremos, esta questão é fundamental à proposição de um modelo de ensino para mudanças cognitivas, objeto central desta pesquisa.

1.1.1. Sobre a natureza das mudanças

Grosso modo, podem-se dividir os trabalhos em três categorias, segundo a preocupação e a abordagem predominante – epistemológica, psicológica ou pedagógica. Os primeiros consistem em propor modelos para mudanças conceituais inspirados em trabalhos derivados da filosofia das ciências, ou seja, em projetar para a educação científica desafios semelhantes àqueles enfrentados, historicamente, pelas comunidades científicas, quando do debate entre teorias rivais em um dado domínio do conhecimento. O segundo grupo de estudos insere-se no campo da psicologia cognitiva, no sentido de precisar o modo como as crianças pensam e o que geram mudanças ao longo de seu desenvolvimento e da aprendizagem em domínios específicos do conhecimento. Finalmente, outros trabalhos destacam, sobretudo, o caráter específico e cultural do empreendimento educativo, o que confere às interações em sala de aula um lugar de destaque na promoção das mudanças. Embora o olhar para a mudança seja distinto, quer se considere a perspectiva filosófica, psicológica ou cultural, não há, tampouco, consenso sobre a natureza das mudanças no interior de cada uma dessas abordagens.

Um dos primeiros trabalhos a estabelecer uma teoria para mudanças conceituais nas aprendizagens em ciências foi proposto pelo grupo da Universidade de Cornell (POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG, 1982; HEWSON, 1981). O modelo então proposto fundamenta-se nos estudos de T. Kuhn, I. Lakatos e S. Toulmin referentes ao problema da mudança na filosofia das ciências. O ponto básico consiste em afirmar o caráter racional das aprendizagens, isto é, em supor que aprender é tornar-se capaz de compreender e aceitar idéias, compondo-as com suas concepções anteriores, quando compatíveis, ou escolhendo entre concepções mutuamente inconsistentes, quando isso se mostrar necessário. O modelo proposto pelos autores volta-se para as mudanças radicais, semelhantes àquelas que acompanham as revoluções científicas, no sentido kuhniano (KUHN, 1975). Dois componentes básicos são propostos: a ecologia conceitual e as condições para que as mudanças ocorram. A ecologia conceitual é constituída por elementos que organizam, selecionam ou impedem o avanço do conhecimento do sujeito, sendo constituída por anomalias, compromissos epistemológicos e crenças metafísicas. Quanto às condições para mudanças, estas decorrem de uma avaliação do sujeito da aprendizagem quanto a plausibilidade, inteligibilidade e poder explicativo das novas concepções, assim como de uma certa insatisfação quanto às concepções anteriores.

Em trabalhos posteriores, os autores introduzem alguns refinamentos importantes no modelo original. HEWSON (1985) destaca a importância de atuar explicitamente sobre os compromissos epistemológicos dos estudantes, visando aumentar as exigências de generalidade e consistência interna, essenciais ao desenvolvimento de sistemas teóricos na ciência, mas de menor relevância para o pensamento espontâneo. Esse autor introduz, ainda, a noção de *status* das concepções envolvidas (HEWSON & THORLEY, 1989; HEWSON & HEWSON, 1992), considerando-as como uma avaliação pessoal do aprendiz acerca de sua plausibilidade, inteligibilidade e poder explicativo, ou seja, se o sujeito compreende, aceita e considera úteis as idéias novas e antigas e, também, se as considera satisfatórias. Nesse sentido, a mudança conceitual não envolveria escolha de idéias rivais, mas o aumento ou a diminuição do *status* das concepções com base nos elementos presentes na ecologia conceitual.

STRIKE & POSNER (1992), em sua revisão ao modelo de mudança conceitual, procuram examinar variáveis próprias do contexto de aprendizagem dos estudantes, o que conduz a uma postura mais cautelosa em relação às analogias entre as mudanças conceituais em sala de aula e os estudos acerca das revoluções científicas na história do pensamento científico. Os autores propõem que outros fatores devem ser levados em conta na descrição da ecologia conceitual, a fim de se incluírem motivos e metas dos aprendizes, o que seria, em grande medida, decorrente de fatores institucionais e sociais próprios do ambiente escolar. Consideram, ainda, necessário considerar, de modo dinâmico, interativo e evolutivo, as concepções dos estudantes assim como os elementos que compõem sua ecologia conceitual. Destacam o fato de que essas concepções são acompanhadas por um grupo de suporte cognitivo, resistindo a modificações enquanto esse grupo desempenhar seu papel.

Outros autores (VILLANI, 1992; DUSCHL E GITOMER, 1991) partem de estudos de filosofia da ciência de LAUDAN (1984) para afirmar o caráter gradual e evolucionário das mudanças conceituais, em oposição à imagem de mudanças radicais sugeridas a partir de uma perspectiva kuhniana ou lakatosiana desses processos (KUHN, 1975; LAKATOS, 1979). Cauteloso em relação às transposições dos trabalhos da filosofia das ciências para a compreensão dos processos de aprendizagem em sala de aula, VILLANI (1992) procura destacar, nesses trabalhos, elementos reveladores das resistências dos estudantes a mudanças. Como Laudan, o autor considera que as

mudanças mais profundas na ciência envolvem diferentes compromissos com a ontologia, a metodologia, a direção e os valores das “tradições de pesquisa” e, apenas indiretamente, com suas teorias. Conclui, então, que a aprendizagem efetiva em ciências não envolve apenas mudanças nos conceitos, mas sobretudo na natureza das questões formuladas, nas entidades básicas envolvidas, nos métodos e na direção a ser perseguida na aprendizagem. O processo de mudança apresentaria, assim, uma fase inicial e exploratória, em que se perseguem novos modelos e se checam novas idéias e teorias, sem que isso conduza a um abandono de idéias anteriores. Segundo o autor, a aprendizagem efetiva e duradoura em ciências envolve um processo lento de mudanças que deve dirigir-se não apenas para a assimilação de conceitos em um dado campo, quanto para novos modos de raciocínio, demandas epistemológicas e valores cognitivos.

DUSCHL & GITOMER (1991) destacam a crítica ao modelo holístico da mudança desenvolvida por LAUDAN (1984), para quem as mudanças científicas envolvem reestruturações “*não simultâneas nem hierárquicas*” na ontologia – referente à natureza do objeto do conhecimento –, na metodologia – colocação do problema de investigação e formas de abordagem – e na axiologia – valores e metas a serem perseguidos. Desse modo, os autores consideram que princípios, leis e teorias científicas devem ser ensinadas juntamente com o conhecimento estratégico do domínio, ou seja, aquele conhecimento envolvido na avaliação da teoria e na organização de evidências, observações e dados. Como estratégia de ensino, propõem o uso da “*cultura do portfólio*”, em que os estudantes passam a se responsabilizar, juntamente com os professores, pela avaliação e regulação de sua própria aprendizagem.

NERSESSIAN (1987, 1992) estabelece um modelo para a aprendizagem em ciências baseado em uma abordagem cognitiva de episódios de história da ciência. Nessa perspectiva, a história da ciência é vista “*como um repositório de conhecimentos sobre como prosseguir construindo, modificando e comunicando representações científicas*” (1992, p.54). Ao acompanhar, por exemplo, a evolução do conceito de campo na física, de Faraday a Einstein, a autora afirma que seu significado, muito mais do que uma definição precisa, comporta múltiplos componentes, tais como estrutura matemática, propriedades causais, *status* ontológico e referência a outros conceitos. Por outro lado, a dinâmica do processo histórico revela mudanças graduais, e não revoluções abruptas, em que os conceitos são formados por combinação, diferenciação e transferências entre aqueles já existentes. O estudo dos períodos de transição que

antecedem as grandes “revoluções” conceituais na física permitiu, à autora, destacar o uso de certos procedimentos heurísticos específicos: analogias, experiências de pensamento, análise de casos-limite e raciocínio apoiado em representações imagéticas. Para Nersessian, a aprendizagem em ciências envolve aprender a manejar essas técnicas de abstração, em detrimento de considerações acerca da consistência formal dos argumentos, que cumprem um papel pouco relevante nos momentos de mudança.

Ao examinar o objeto das mudanças projetadas pela educação em ciências, diSessa (1998) critica a imprecisão teórica do que sejam conceitos. Segundo o autor, o problema central das mudanças conceituais reside em modos de ver e pensar o mundo. Propõe que os conceitos sejam tomados como “*classes de coordenação*” (*coordination classes*), que o autor define como “*conjunto complexo de modos que as pessoas utilizam para ler classes particulares de informações sobre o mundo*” (p. 1188). Isso inclui a utilização de estratégias de atenção dirigida e integração das observações relevantes para se obterem informações sobre um dado aspecto da realidade. Além dessas “estratégias de leitura”, as classes de coordenações contêm um componente causal, que permite deduzir resultados a partir de determinadas condições ou, ainda, observar resultados e inferir as precondições dadas. No entanto o autor não considera que as concepções dos estudantes compartilhem propriedades de teorias. Em lugar disso, constituem *phenomenological primitives (p-prims)*, ou seja, guardam relações diretas com fenômenos e têm caráter generativo, como espécies de exemplares que dirigem a ação nas instâncias da vida cotidiana. Na medida em que a causalidade física desses modelos primitivos é rica e diversa, a invariância dos mesmos torna-se problemática, o que explica a dependência dos seus conceitos aos contextos em que se manifestam. Entretanto, os *p-prims* não constituem, individualmente, classes de coordenações, pois seriam muito pontuais e isolados para tanto: “... *se existem classes de coordenação ingênuas, sem dúvida múltiplos p-prims estão envolvidos na rede causal, mas esses p-prims não são adequadamente considerados como conceitos em si*” (DISESSA, 1998, p. 1179).

Segundo CAREY (1985, 1991), o desenvolvimento cognitivo da criança ocorre em função de mudanças em domínios de conhecimento e não em termos de diferenciação das estruturas operatórias. A autora aponta para dois tipos de reestruturação cognitiva: em um sentido mais brando – reestruturação fraca –, a mudança envolveria a construção de novas relações entre conceitos e de novos esquemas para a solução de

problemas; enquanto, em seu sentido pleno – reestruturação forte – incluiria, além disso, uma mudança nos conceitos centrais de sistemas cognitivos sucessivos. Apoiando-se em exemplos históricos – como a transição da mecânica aristotélica para a galileana, ou a compreensão dos fenômenos térmicos de Galileu a Black (CAREY, 1986; WISER & CAREY, 1983) –, Carey considera que as mudanças conceituais envolvem três tipos simultâneos de mudança: no domínio dos fenômenos a serem explicados, nos tipos de explicação considerados aceitáveis e nos conceitos fundamentais envolvidos. Segundo a autora, tanto a aprendizagem em ciências na escola quanto o desenvolvimento de conceitos na criança envolvem mudanças conceituais no seu sentido pleno, o que significa não apenas mudanças na hierarquia dos conceitos e dos compromissos ontológicos envolvidos, mas também a inserção de conceitos em teorias localmente incomensuráveis:

“Aqueles que propõem uma ou mais das objeções precedentes [à noção de incomensurabilidade local, preconizada pela autora] compartilham a intuição de que, embora o sistema conceitual das crianças pequenas possa não ser capaz de expressar tudo o que o de um adulto pode, o adulto pode expressar as idéias da criança, isto é, pode traduzir a linguagem da criança em termos adultos. O desenvolvimento cognitivo, nessa perspectiva, consiste no enriquecimento do sistema conceitual infantil até que ele corresponda ao do adulto” (1991, p. 266)

A autora apresenta estudos do desenvolvimento de algumas noções – como peso e densidade, vida, animais, plantas e gente – entre crianças de 4 a 10 anos de idade para sustentar a posição de que tais conceitos estariam inseridos no interior de teorias, que se modificam em aspectos essenciais ao longo do desenvolvimento da criança. Assim, por exemplo, conceitos como “vida”, “peso” ou “substância” de uma criança seriam, fundamentalmente, distintos dos de um adulto. O trabalho do psicólogo, bem como do historiador, consiste em interpretar tais sistemas de pensamento, construindo hipóteses e buscando evidências. Além disso, um número significativo de aspectos comuns e a superposição de certos princípios permitem diálogo e reconhecimento mútuo entre sistemas localmente incomensuráveis.

Para SCHWEDES & SCHMIDT (1992), os conceitos consistem em conglomerado de idéias, contendo um núcleo e um conjunto de regras e idéias associadas, conectadas de modo a explicar determinada classe de problemas. Embora as idéias periféricas possam variar de indivíduo para indivíduo, o núcleo é comum a todos os que sustentam aquele conceito, o que lhe confere uma denominação precisa. Nessa

perspectiva, as mudanças conceituais implicam modificação nos núcleos definidores dos conceitos. Os autores estudam um caso de aprendizagem em circuitos elétricos simples, por meio de uma série de entrevistas entre seções de ensino, de modo a acompanhar, com um máximo de detalhe possível, os processos de mudança conceitual. Concluem que, pelo menos no que diz respeito a esse conteúdo específico, não há caminho evolutivo, passo a passo, entre um conceito (consumo de corrente) e outro (lei de Ohm, distribuição de corrente e energia através do circuito), mas o desenvolvimento de uma compreensão totalmente nova. Entretanto destacam que o antigo modelo não é abandonado imediatamente; em lugar disso, em cada nova situação, o novo e o velho conceitos entram em competição: *“podemos observar que, quando o conceito anterior não funciona, o novo conceito está rapidamente à disposição. Quanto mais bem sucedida for a aplicação do novo conceito, mais estável ele se torna.”* (p. 199). Schwedes e Schmidt destacam que o ensino deve apontar para um ataque direto ao núcleo do velho conceito, ao mesmo tempo em que provê informações para que o estudante possa construir uma nova idéia, completamente diferente da anterior.

NEIDDERER & SCHECKER (1992) propõem um modelo teórico para guiar análise e interpretar resultados de aprendizagem em física, considerando o que se passa na mente dos estudantes. Entendem que a pesquisa em ensino de física deve estabelecer seus próprios paradigmas e tradições de pesquisa no campo de seu trabalho prático. Consideram que, para lidar com a estabilidade e a mobilidade indicadas pelos resultados de pesquisas empíricas em aprendizagem de ciências, devem distinguir-se, nos sistemas cognitivos, as construções atuais (*current constructions*) e os elementos estáveis de uma estrutura profunda (*deep structure*). Embora afirmem não haver limites bem estabelecidos entre representações mentais e processos cognitivos, os autores apresentam um modelo em que se alternam movimentos de “pensamento” (*thinking*) – em que os elementos já existentes no sistema cognitivo são aplicados a uma nova situação – e de “aprendizagem” (*learning*) – em que se verificam mudanças resultantes de um processo de desenvolvimento do sistema ao interagir com situações externas. As mudanças cognitivas assim preconizadas envolveriam elementos de natureza diversa, tais como redes semânticas, concepções, esquemas cognitivos gerais, demandas e valores cognitivos, elementos causais, formas de pensamento, entre outros. Os autores afirmam, ainda, que o processo de mudança é sujeito a flutuações, em que idéias concorrentes se alternam, e que a nova concepção apenas lentamente ganha força.

VOSNIADOU (1994) desenvolve um modelo que, do mesmo modo, procura conciliar elementos de estabilidade e mobilidade aos processos cognitivos. A autora sugere que, entre as teorias científicas e as teorias específicas dos estudantes acerca do mundo natural, existe uma incompatibilidade decorrente de certos pressupostos epistemológicos e ontológicos que formam a base do sistema de crença dos alunos. Essas bases da física intuitiva são estabelecidas precocemente na infância e constituem o que a autora denomina *framework theory* (que iremos designar como teoria de base). A teoria de base seria fundamentalmente restritiva, atuando no sentido de dirigir os modos como os sujeitos interpretam suas observações e as informações que recebem da cultura, de modo a construir teorias específicas sobre o mundo físico. Segundo Vosniadou, as teorias específicas são continuamente enriquecidas e modificadas ao longo das interações dos indivíduos com a cultura, enquanto a teoria de base apresenta uma maior resistência às mudanças, sendo freqüente e recorrentemente utilizadas quando o sujeito procura interpretar novas situações. A autora apresenta estudos sobre concepções da Terra como corpo cósmico, ciclos de dias e noites, acerca de concepções de força e de calor, interpretando-os como tentativas dos estudantes em reconciliar seus modelos físicos com o modelo culturalmente aceito, de modo a preservar, entretanto, algumas restrições de suas teorias de base. A partir desses estudos, Vosniadou destaca os elementos que fazem parte da teoria de base (pressupostos ontológicos e epistemológicos), assim como as crenças e modelos mentais que constituem as teorias de domínio específico. A autora conclui afirmando o processo de mudança conceitual como resultado de revisão gradual dos pressupostos e crenças tanto nas teorias específicas quanto nas teorias de base.

Em outro estudo, VOSNIADOU & IOANNIDES (1998) afirmam que o processo de mudança conceitual “*envolve não apenas mudanças em crenças e pressuposições específicas, mas também requer o desenvolvimento de uma consciência metaconceitual e a construção de estruturas teóricas com maiores sistematicidade, coerência e poder explanatório*” (p.1222). As autoras consideram que as estratégias e intervenções do ensino devem tornar os estudantes conscientes tanto de suas representações implícitas, quanto das crenças e pressupostos que restringem seu avanço. Destacam que as crianças e jovens aprendizes são bons formuladores de teorias, mas não costumam considerar suas explicações como hipóteses a serem examinadas racionalmente. Desse modo, as atividades de ensino devem incentivar os estudantes a

explicitar suas representações e crenças, a justificá-las junto aos seus pares e professores, a compreender suas limitações e a buscar sua superação. Consideram ainda necessário compreender como os sistemas simbólicos, produtos culturais, são internalizados e influenciam nos processos de pensamento.

Ainda no campo da psicologia cognitiva, CHI, SLOTTA & DE LEEUW (1994) elaboram um modelo que procura explicar por que alguns conceitos são especialmente difíceis de aprender. Segundo os autores, isso acontece sempre que existe uma incompatibilidade ontológica entre a teoria científica e as teorias mantidas pelos estudantes. O modelo proposto pelos autores pressupõe que as entidades do mundo podem ser agrupadas em três grandes categorias ontológicas: *matéria (coisas)*, *processos* e *estados mentais*. Como as propriedades de uma dessas categorias difere fundamentalmente das demais, os estudantes teriam grandes dificuldades quando uma entidade – por exemplo, energia –, que consideravam pertencer a uma delas – matéria – deve ser compreendida de outro modo – ou seja, como processo. Os estudos empíricos que sustentam essa teoria baseiam-se, em geral, na mudança da categoria *matéria* para a categoria *processos*, o que permite examinar a possibilidade de que as dificuldades apontadas pelos autores não reside nas mudanças genéricas entre as categorias, mas, sobretudo, no tratamento de processos que envolvem interações. Processos em interação costumam implicar a noção de conservação, que tende a ser ignorada pelos estudantes, cuja atenção se concentra nos aspectos perceptivos em mudança e não nos elementos, muitas vezes de alto grau de abstração, que permanecem apesar das mudanças. Além disso, processos interativos envolvem, com frequência, noções de equilíbrio, sem princípio ou fim, nas quais não se pode identificar um agente causal bem definido.

ASTOLFI & PETERFALVI (1993) consideram que a educação em ciências deve dirigir seus esforços aos obstáculos e não, genericamente, às representações dos estudantes. Sustentam a idéia de objetivo-obstáculo, porquanto permitem formular metas essenciais para a educação científica, em um número limitado de progressos decisivos. Os objetivos-obstáculos orientam, também, as intervenções pedagógicas, a avaliação da aprendizagem e as metas de aprendizagem possíveis de ser alcançadas num dado nível de escolaridade. Os autores argumentam que os obstáculos apresentam uma característica transversal, perpassando várias representações dos estudantes, e sugerem que sejam considerados local e globalmente pelo ensino, de modo alternado. Além disso tanto as representações dos estudantes quanto os obstáculos que as sustentam,

manifestam-se em uma rede de idéias que constitui um sistema, elementos que se apóiam e se reforçam mutuamente, o que os torna mais resistentes aos esforços de refutação. Desse modo, para Astolfi e Peterfalvi, os conflitos representam uma condição, entre outras, para a ultrapassagem dos obstáculos.

Outros autores consideram que a dimensão essencial da mudança envolveria as diferentes formas de raciocínio causal contidas nas formas evoluídas do pensamento científico e ausentes no domínio do pensamento espontâneo (ANDERSSON, 1986; ROZIER & VIENNOT, 1991; GUTIERREZ & OGBORN, 1992; PERKINS & GROTZER, 2000). Os modelos propostos variam na extensão e sofisticação dos processos.

O trabalho pioneiro de ANDERSSON (1986) permitiu identificar, em diferentes conteúdos, a mesma estrutura causal, constituída por três elementos – agente, instrumento e objeto – interligados de modo linear e unidirecional. Segundo o autor, as regras básicas dessa “*causalidade experiencial*” constituem o núcleo central das concepções espontâneas. De modo semelhante, ROZIER & VIENNOT (1991) apresentam o “raciocínio linear causal” como estratégia de pensamento dos estudantes ao lidarem com sistemas de muitas variáveis. Nesse caso, as conexões temporais permitem uma redução do número de variáveis, que são consideradas, separadamente, na forma de uma narrativa. Isso traduz modos de pensar essencialmente distintos da característica sistêmica e interativa dos modelos científicos.

GUTIERREZ & OGBORN (1992) procuram sofisticar a descrição dos modelos causais dos estudantes, de modo que não apenas descrevam formas estáticas de raciocínio, mas também acompanhem e expliquem a ocorrência de mudanças. Estas, decorrentes das interações dos sujeitos com o sistema físico, buscam satisfazer condições de consistência, correspondência com a experiência e robustez dos modelos propostos. Para os autores, os estudantes têm um compromisso com a causalidade, isto é, tentam elaborar explicações, mesmo quando estas pareçam circulares e formuladas a partir de elementos *ad hoc*. Apontam para a existência de duas formas de causalidade,

*dinâmica e estrutural*¹ – as primeiras agindo positivamente nos atributos dos materiais, enquanto as segundas produzem efeitos devido à estrutura ou às restrições do sistema. Em seu estudo, Gutierrez e OGBORN (1992) destacam a preferência, sobretudo por parte dos estudantes mais jovens, pela causalidade dinâmica. Desse modo, os autores acompanham como os estudantes reconstróem seus modelos, partindo da estrutura *uma causa, um efeito* para sistemas em que muitas causas combinam na produção de um efeito dado.

PERKINS & GROTZER (2000) sugerem que as dificuldades dos estudantes na aprendizagem em ciências decorrem de dois fatores essenciais: primeiro, os *modelos de causalidade* complexa do pensamento científico contrastam com a causalidade simples e linear com que os estudantes estão habituados a trabalhar; segundo, a aprendizagem em ciências envolve uma série de *movimentos epistêmicos*, no sentido de promover atitudes e estratégias de avaliação frente ao conhecimento. No que se refere à causalidade, os autores apresentam uma série de categorias, que procuram indicar as formas básicas prevalentes do pensamento causal espontâneo e de alguns domínios específicos da ciência, quanto aos seguintes aspectos: mecanismo causal, relações causais, previsão de resultados e explicação de novidades. Para cada um desses aspectos, propõem categorias de complexidade crescente, ressaltando a ausência de formas mais elaboradas no pensamento cotidiano e sua importância na organização das estruturas conceituais da ciência.

BORGES & GILBERT (1999) investigam a progressão de modelos mentais utilizados por estudantes e profissionais com experiências diversas no que se refere aos circuitos elétricos e à natureza da eletricidade. Os modelos mentais são descritos como atribuição de estruturas e mecanismos ao real, a fim de prever e dar sentido à experiência. Desse modo, a aprendizagem em ciências é descrita como resultado de uma evolução gradual de modelos, ou seja, a evolução do sentido dado às coisas, daquilo que as constitui, do modo como funcionam e por que se comportam de uma certa maneira. Os autores sugerem que seus resultados sobre a progressão de modelos em eletricidade podem ser generalizados a outras áreas da ciência no que se refere a alguns aspectos, tais como mudança na abrangência e campo de validade dos modelos; diferenciação de

¹ HALBWACHS (1977) estabelece a mesma distinção, mas denomina-as, respectivamente, causalidade *heterogênea* e *homogênea*, conforme a causa da transformação esteja situada fora do sistema, quando se impõe a distinção entre causa e efeito, ou do interior do sistema, segundo sua natureza ou composição interna.

conceitos básicos; transição de modelos qualitativos para quantitativos; mudança na ontologia; mudança na causalidade e formas de explicação adotadas.

Outro grupo de pesquisadores tem apontado, mais recentemente, para as dimensões culturais e sociais da ciência e dos processos de aprendizagem em ciências. Segundo os autores de um dos mais representativos trabalhos nessa área:

“... aprender ciências, portanto, envolve ser iniciado nas idéias e práticas da comunidade científica e tornar essas idéias e práticas significativas no nível individual. O papel do professor de ciências, mais do que organizar o processo pelo qual os indivíduos geram significados sobre o mundo natural, é o de atuar como mediador entre o conhecimento científico e os aprendizes, ajudando-os a conferir sentido pessoal às maneiras pelas quais as asserções do conhecimento são geradas e validadas.” (DRIVER, ASOKO, LEACH, MORTIMER & SCOTT, 1994, p. 6)².

Para esses autores, o conhecimento científico difere fundamentalmente do conhecimento de senso comum por suas entidades ontológicas, pelas metas e propósitos de cada uma dessas instâncias e pela necessidade de explicitar seus modos de raciocínio, em oposição ao caráter tácito do conhecimento cotidiano. Afirmam que os estudos sobre mudança conceitual no ensino de ciências não investigaram, de modo substantivo, as interações dos estudantes com as realidades simbólicas, ferramentas culturais da ciência. Em lugar de conceberem a eliminação do conhecimento cotidiano em detrimento do científico ou a subordinação do primeiro ao segundo, afirmam que a aprendizagem em ciências é mais bem caracterizada como construção de sistemas paralelos, relacionados a contextos específicos de interação social, com propósitos diferenciados. Embora reconhecendo que a aprendizagem em ciência envolve reestruturação de idéias, os autores consideram exagerada a ênfase na natureza teórica das concepções dos estudantes. Assim, mais do que mudar de um conjunto de teorias para outro, a aprendizagem em ciências envolve a compreensão do que constitui uma teoria científica.

A perspectiva racionalista dos modelos de aprendizagem por mudança conceitual é criticada por PINTRICH, MARX & BOYLE (1993), que consideram necessário considerar fatores contextuais de sala de aula, que atuam como moderadores das crenças motivacionais dos estudantes. Desse modo, seria possível intervir nas

² Esse mesmo artigo foi traduzido e publicado recentemente na “*Química Nova na Escola*”, n. 9, maio 1999, p. 31-40.

variáveis que predisõem os estudantes a reconhecer um problema e a decidir pela sua resolução por meio de recursos cognitivos mais sofisticados. Os autores examinam vários desses fatores contextuais (estrutura da tarefa, autoridade e distribuição dos papéis, modos de conduzir e negociar a avaliação, aspectos gerenciais da sala de aula, suporte para realização das tarefas) em relação com fatores motivacionais (metas de promoção, motivações epistêmicas, interesse pessoal, valor utilitário, autoconfiança) e fatores cognitivos (atenção seletiva; ativação de conhecimentos prévios, processamento de informação, atitudes metacognitivas, auto-regulação, elaboração e resolução de problemas).

DÉSAUTELS & LAROCHELLE (1990) defendem a tese de que a apropriação de conhecimentos científicos é dependente do quadro epistêmico implícito que guia a atividade cognitiva dos estudantes. Assim, por exemplo, as crianças acreditam que as sensações dão acesso imediato à compreensão, elaboram com frequência raciocínios circulares, baseados nas propriedades dos objetos, e recorrem à idéia de substância para explicar uma diversidade de fenômenos. Essas convicções ontológicas e epistemológicas fundamentais constituem a base da física ingênua e, para elas, deve ser dirigida a atenção das atividades de ensino. Os autores apóiam-se nas noções bachelardianas de *“perfil epistemológico”* e de *“psicanálise dos conhecimentos prévios”* como condição básica do desenvolvimento da ciência (BACHELARD, 1984; 1996). Elaboram estratégias de ensino que denominam *“perturbação epistemológica”*, o que significa o questionamento do estatuto epistemológico dos conhecimentos prévios e o reconhecimento da importância de se considerarem os postulados e regras do “jogo” de construção do conhecimento científico. O processo é conduzido pela proposição de problemas abertos, que devem ser investigados pelos estudantes, organizados em grupos, visando elaborar modelos e submetê-los à apreciação dos colegas. A mudança é então descrita como resultado de uma complexificação das estruturas conceituais dos sujeitos, que não pode ser reduzida à eliminação ou substituição de suas concepções prévias. Os conhecimentos científico e espontâneo não são intercambiáveis, pelo fato de não responderem às mesmas questões nem, tampouco, perseguirem os mesmos propósitos.

A partir da noção bachelardiana de perfil epistemológico, MORTIMER (1994; 1995) sugere que a aprendizagem em ciências promove a evolução de perfis conceituais dos estudantes. Assim como o perfil epistemológico, o perfil conceitual estabelece uma

hierarquia entre as diferentes zonas na construção de conceitos, caracterizada por conter categorias de análise com poder superior às anteriores. Abrange, no entanto, outros aspectos próprios da evolução das idéias dos estudantes em situações de ensino. Assim, as zonas que compõem o perfil conceitual diferem entre si não apenas por sua filiação epistemológica, mas também por suas características ontológicas. O autor sugere dois momentos no processo de aprendizagem. O primeiro deles corresponde à aquisição de um conceito em um nível específico do perfil, tendo em vista a natureza dos obstáculos ontológicos e epistemológicos que se contrapõem a seu desenvolvimento. Nesse momento, o papel do professor é fundamental no sentido de explicitar a agenda, identificar os obstáculos, tentar minimizá-los e auxiliar os estudantes a superá-los. O segundo momento consiste na tomada de consciência, por parte dos estudantes, de seus próprios perfis, bem como da avaliação das limitações e poder explicativo dos elementos que o compõem. Segundo o autor, uma das conseqüências da noção de evolução dos perfis conceituais consiste em permitir ensinar um conceito em um certo nível de complexidade sem que seja necessário fazer referência aos níveis anteriores, a menos que as concepções prévias constituam obstáculos ao desenvolvimento do novo conceito. Nesse caso, será necessário lidar com a contradição, o que pode ocorrer em qualquer momento do processo de ensino, e não apenas no início deste.

Baseado em estudos de sociologia do conhecimento, SOLOMON (1983a, 1992) identifica duas esferas de conhecimento – científica e cotidiana – distintas em sua gênese e modos de operação. Apesar da independência relativa desses dois sistemas, a autora apresenta dados empíricos relativos ao conceito de energia que corroboram a hipótese de que a aprendizagem duradoura e efetiva é aquela capaz de distinguir e operar nos dois domínios de conhecimento:

“Os níveis mais profundos de compreensão não são atingidos nas formas abstratas da física ‘pura’, ou através de uma batalha para eliminar as estruturas inexatas da comunicação social, mas sim pela fluência e discriminação com que aprendemos a nos mover entre esses dois domínios contrastantes de conhecimento.” (1983a, p. 58)

Na perspectiva da cognição situada, CARAVITA & HALLDÉN (1994) alegam que:

“a mudança não se localiza em estruturas de conteúdo ou necessariamente se dá através de conflitos e pela substituição de idéias e práticas preexistentes. A mudança envolve um conjunto de maneiras de pensar sobre um domínio conceitual que são evocadas em contextos de ação e de discurso específicos. Ela é o resultado de uma diferenciação ‘oportunística’ entre contextos de interpretação. (p. 89).

As autoras consideram que importantes diferenças entre a história da ciência e o contexto de aprendizes em ambiente escolar foram menosprezados, resultando numa dissociação das mudanças dos processos mais gerais de aprendizagem escolar. Do mesmo modo, lamentam que os conceitos gerais de equilibração das estruturas cognitivas de Piaget tenham servido de suporte a uma noção de progresso como ponto final normativo, cuja direção é devida a processos endógenos de equilibração. Questionam, ainda, o uso da metáfora da rede semântica para caracterizar as formas de conhecimento dos estudantes, uma vez que, através deles, se destacam os aspectos estáticos em detrimento do dinamismo essencial das representações mentais. Em lugar disso, Caravita e Halldén afirmam que os aspectos fundamentais da aprendizagem residem no entendimento das diferentes formas de explicação envolvidas na ciência e no pensamento cotidiano, no nível de seus propósitos, sua ontologia e sua causalidade. Assim, os estudantes devem ser levados a refletir sobre as questões a serem respondidas, o que vale como respostas a essas questões e quais são as exigências para a argumentação em ciência. Concluem as autoras que o objetivo da educação em ciências consiste em estender o repertório de idéias sobre o mundo físico e social objetivando incrementar sua organização e coerência.

Esse breve retrospecto da pesquisa quanto à compreensão do sentido dos processos de mudança que acompanham as aprendizagens em ciências indica que, muito além dos aspectos conceituais, as mudanças envolvem propósitos, atitudes, metodologia, ontologia, epistemologia e um processo continuado de reflexão sobre o próprio conhecimento. Poderíamos dizer que todos esses fatores estariam envolvidos, mas o que importa mesmo é que, ao final do processo, os estudantes tenham acesso aos verdadeiros produtos da atividade científica. Entretanto, consideramos que não seja este o objetivo central da educação científica voltada para uma compreensão básica por todos, no interior de sociedades crescentemente influenciadas por questões científicas e tecnológicas.

O que se pretende, por meio do ensino de ciências, é promover novas formas de ver o mundo, refletir sobre fenômenos e analisá-los, ir além das aparências, combinar

evidências e inferências em atividades de modelagem de aspectos da realidade que se procura melhor compreender para intervir e agir. Enfim, a meta fundamental da educação científica consiste em fazer com que os jovens entendam o que é a ciência, quais as “regras” desse jogo, para que possam se beneficiar, pessoal e socialmente, da racionalidade científica.

Os propósitos do modelo de ensino que iremos examinar ao longo deste trabalho não são dirigidos apenas a mudanças nos repertórios conceituais dos estudantes em domínios específicos do conhecimento, mas mudanças mais profundas, relativas aos modos de pensar e organizar as experiências, de refletir e argumentar acerca do próprio conhecimento e da ciência enquanto empreendimento social mais amplo. Denominamos “mudanças cognitivas”³ a esse amplo leque de transformações, com fortes componentes afetivos e motivacionais, que entendemos serem graduais e permeados por uma dialética de continuidades e rupturas.

Certamente o modo de promover tais mudanças consiste em propor e examinar problemas locais, partindo de cenários concretos para representações e destas para estruturas mais profundas. Esses conhecimentos são, em tese, transferíveis e generalizáveis a outros contextos, mas sabe-se que isso não ocorre diretamente e sem resistências. A cada novo contexto, retorna-se ao plano da experiência e, freqüentemente, o fazemos a partir de estratégias cognitivas mais primitivas, porquanto mais robustas e econômicas. Entretanto as possibilidades de transferência de formas avançadas de conhecimento são tanto maiores quanto mais significativas e reiteradas forem as experiências locais em que sejam utilizadas com sucesso. Os processos de mudança que se almeja são, portanto, processos de longo prazo, a ocupar todo o período de escolarização obrigatória, em níveis crescentes de abstração.

³ A expressão “mudança cognitiva” é proposta por NEWMAN, GRIFFIN & COLE (1989, p.59) para caracterizar os processos que envolvem interações dialéticas entre o mundo social e as mudanças individuais. Será considerada, nesse trabalho, como reorganização de sistemas de significação, leque de processos envolvidos quando um sujeito modifica seus pontos de vista em relação a um dado objeto do conhecimento.

1.1.2. A Progressão das Formas de Entendimento dos Estudantes

Convém, então, atentar para o problema da graduação das demandas cognitivas, tanto a nível da organização do currículo quanto ao longo de unidades de ensino. O problema, longe de estar bem formulado e equacionado, apresenta-se, ainda, de forma incipiente, com contribuições locais de alguns autores, cujos resultados apresentamos de modo sucinto.

LEMEIGMAN & WEIL-BARRAIS (1994) examinam o problema das mudanças cognitivas em mecânica, procurando descrever, com mais detalhes, as atividades cognitivas envolvidas, assim como a natureza das mudanças que ocorrem no processo. Avaliam que a mudança nas representações dos estudantes acerca dos fenômenos físicos envolve quatro aspectos centrais: 1. representações implícitas, pessoais e inconscientes tornam-se conscientes, explícitas e compartilhadas pela comunidade de aprendizes; 2. representações locais tornam-se representações gerais, com controle por meio de critérios, tais como invariância, coerência, parcimônia e funcionalidade; 3. rigidez de uma representação converte-se em flexibilidade por descentração, diferenciação e integração; 4. representações centradas nos objetos e em eventos transformam-se em representações sistêmicas.

Este último aspecto, relativo ao deslocamento de objetos e eventos para sistemas, interessa-nos particularmente, pois se aproxima das formulações que iremos desenvolver no modelo de ensino que propomos. Segundo os autores, para isso são necessárias algumas operações mentais, a saber: a) construção de um sistema, ou seja, grupamento de objetos que passam a ser concebidos como um único objeto, com a escolha das variáveis que descrevem o sistema; b) segmentação temporal dos eventos (estados do sistema); c) hierarquização dos fatores – quais são mais relevantes para primeira solução aproximada do problema.

Contudo, dada a lentidão das mudanças cognitivas, os autores consideram necessário estabelecer um ponto de vista desenvolvimentista acerca da formação de conceitos na criança. Assumindo o caráter progressista das construções dos estudantes, Lemeigman e Weil-Barrais consideram crucial para o ensino auxiliá-los naqueles níveis em que já adquiriram certo grau de autonomia de tal modo que podem adquirir ou elaborar novos conhecimentos. Para isso, sugerem a eleição de representações precursoras, a partir de análises epistemológicas e psicológicas:

“Como nem sempre é possível que os alunos tenham acesso direto aos modelos físicos científicos com base em representações que eles podem elaborar ‘espontaneamente’, entendemos que seria benéfico planejar modelos intermediários com o propósito do ensino. Esses modelos servem como precursores que, embora difiram dos modelos dos cientistas, ainda preservam algumas das características destes. [...] Esses modelos podem tornar-se precursores de modelos sistêmicos se os estudantes forem capazes de apoderar-se das similaridades e diferenças entre as representações precursora e científica.” (p. 103)

Em sua pesquisa, esses autores trabalham com pequenos grupos de estudantes voluntários, com os quais realizam experimentos e entrevistas, de modo a selecionar atividades que engajassem mudanças significativas e modelos precursores. Trabalham com conteúdos de mecânica – força, energia e quantidade de movimento – e concluem que a abordagem e o tipo de ajuda variam bastante conforme a natureza do conteúdo e das concepções implícitas dos estudantes.

DE VECCHI (1994) considera que um dos problemas colocados à didática é o de delimitar “níveis de formulação” dos conteúdos do ensino. Na sua visão, os modos tradicionais de responder a essa questão são inócuos e artificiais, na medida em que não se levam em consideração as concepções dos estudantes. Sugere que os níveis de formulação devem corresponder aos processos de formação de conceitos e ter por referência obstáculos susceptíveis de serem superados em função do nível de desenvolvimento da criança. Quando se passa de um nível de formulação a outro, faz-se necessária uma ruptura importante, com reorganização e remodelagem das concepções precedentes. A reorganização implica que a leitura de mundo não pode mais ser a mesma, uma vez que se faz necessário reconstruir um modelo explicativo mais pertinente.

Uma outra possibilidade para a definição de formas de abordagem de um conteúdo consiste em fazê-lo segundo as práticas sociais de referência. Para De Vecchi, tal questão, a que denomina “registros de formulação”, é complementar à anterior. Assim sendo, a definição do currículo incluiria opções quanto aos registros e aos níveis de formulação mais adequados ao tratamento de determinados conceitos. Entretanto, os níveis de formulação também definem campos de validade precisos, além dos quais aquela formulação do conceito revela-se inadequada e insuficiente. Desse modo, a definição de níveis de formulação precisos e operacionais se dá pela dialética entre a análise do conceito em relação aos campos sociais de referência e às concepções dos estudantes. O autor apresenta alguns exercícios de níveis de formulação dos conceitos

de “semente”, “alimentação” e “respiração” ao longo do currículo, mas não considera o problema de diferentes níveis de formulação ao longo de uma unidade de ensino.

DYKSTRA, BOYLE & MONARCH (1992) afirmam, do mesmo modo, que não basta apresentar uma seqüência de modelos crescentemente sofisticados acerca de um domínio conceitual ou ainda, de modo mais explícito, fornecer uma organização hierárquica dos conteúdos escolares. Em lugar disso, os autores desenvolvem uma seqüência de ensino em mecânica, em que representam estados sucessivos de conhecimento dos estudantes e as mudanças envolvidas, conforme diagrama reproduzido na FIG. 1.

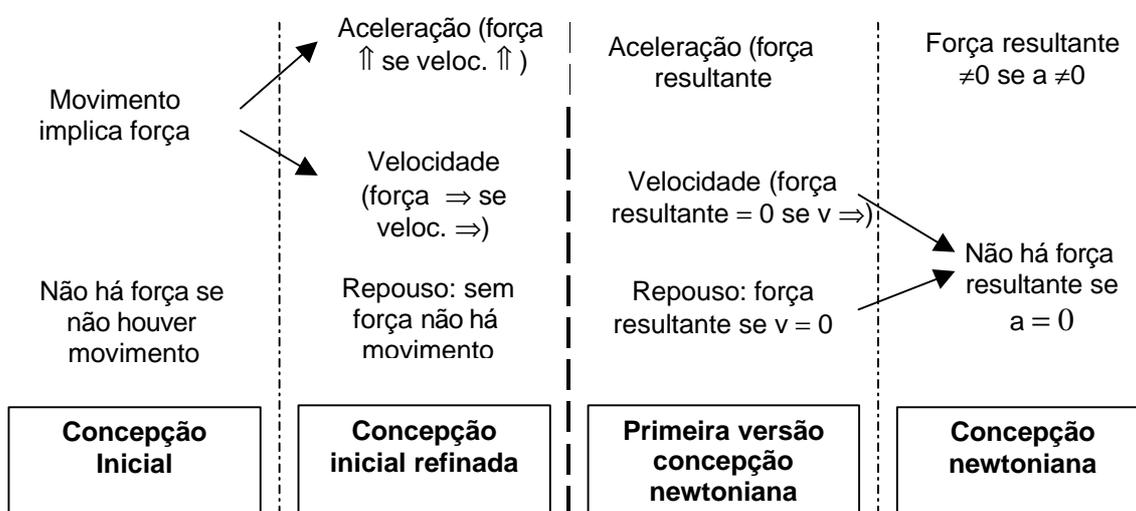


Figura 1: Mapa de concepções, em que se indica uma seqüência de mudanças ao longo de um curso. As linhas pontilhadas representam as mudanças, \uparrow representa incremento e \Rightarrow representa valores constantes (DYKSTRA, BOYLE & MONARCH, 1992, p. 624).

Os autores denominam esse tipo de representação de “mapas de concepções”, cujo propósito reside em organizar e tornar explícitos os conteúdos essenciais do conhecimento dos estudantes, de modo que se selecionem situações de ensino destinadas a provocar desequilíbrios sucessivos. Concluem que “*mapas de concepções nos capacitam a monitorar o processo de aprendizagem de maneira mais precisa e para fornecer conteúdo para o ensino planejado de modo a tornar efetiva aquela aprendizagem*” (p. 633).

TIBERGHIEEN (1998) destaca a necessidade de se diferenciarem os ritmos do ensino dos ritmos e processos de aprendizagem. Assim, o fato de certas seqüências didáticas estabelecerem fases sucessivas de abordagem não significa que os estudantes em sua atividade concreta venham a obter os patamares desejados nos tempos previstos.

Para amenizar tais conflitos, a autora sugere que os conteúdos fundamentais devem ser tratados de modo recursivo e relacional, a fim de permitir múltiplas oportunidades de entendimento.

Ao se reportar a pesquisas relacionadas a seqüências didáticas envolvendo conteúdos da física térmica para crianças de 12-13 anos de idade, Tiberghien aponta certos progressos nas formas de compreensão dos estudantes, embora não tenham sido alcançados os objetivos normalmente estabelecidos pelo currículo. Por exemplo, ao examinar situações de isolamento térmico, a autora destaca três níveis de compreensão. No primeiro nível, básico, estabelece-se a suposição inicial de que a água gelada, ou quente, contida no vasilhame permanece a mesma, pois o recipiente conserva o frio ou o calor; desse modo, o recipiente cumpre o papel de agente causal. No segundo nível, desloca-se o agente causal para o gelo ou a água quente, em função de seu estado térmico; nesse caso, o recipiente apenas conduz ou isola o frio, ou o calor, para o ambiente. No terceiro nível, destacam-se as diferenças de temperatura – fora e dentro do recipiente – como agente causal que provoca transferência de calor no sentido do mais quente para o mais frio; então, o recipiente apenas resiste a essa transferência, regulando o fluxo de energia no sistema. Segundo Tiberghien, a maioria dos estudantes atinge o segundo nível descrito; o terceiro, porém, parece extremamente difícil de ser alcançado nesse nível de ensino⁴.

Dados como esses, que têm sido reportados com freqüência pelas pesquisas, indicam um desajuste entre as metas do ensino e as aquisições dos estudantes. A autora considera necessário restabelecer o equilíbrio, propondo, explicitamente, a introdução de noções intermediárias, tanto nos materiais de ensino quanto nos guias curriculares e na formação de professores. Assim, conclui afirmando que:

“Acreditamos que a necessidade da introdução dessas noções intermediárias se deva à sua capacidade de ser aprendidas, à sua eficiência na interpretação de uma parte do mundo material e ao fato de estarem mais próximas do conhecimento de física que o conhecimento inicial dos alunos, mesmo que elas ainda não sejam completamente corretas” (TIBERGHIEEN, 1998, p. 43).

⁴ Como veremos, nos termos do modelo de ensino que propomos, o primeiro e segundo níveis correspondem à etapa intra-objetal (subníveis IA e IB, respectivamente) e o terceiro nível corresponde à etapa inter-objetal (nível II). Os dados da presente pesquisa, envolvendo alunos um pouco mais velhos (14-15 anos), fornecem uma perspectiva mais otimista quanto ao progresso das formas de entendimento dos estudantes (ver capítulo 5, seção 5.2).

BROWN & CLEMENT (1992) destacam a importância, no planejamento e desenvolvimento de unidades de ensino, da utilização de conceitos intermediários como passos intermediários (*stepping stones*) em direção aos conceitos físicos mais abstratos. Seu estudo consiste no refinamento e ajuste gradual de uma unidade de força e movimento frente aos resultados de aprendizagem. Os autores dão como exemplo de noções intermediárias, termos ou expressões como “reter” (*holdback*) e “segue em movimento” (*keep going*), que passam a ser largamente utilizados pelos estudantes assim que mencionados pelo professor. Tais noções podem ser, posteriormente, integradas em um único conceito de “inércia” como resistência à aceleração, tanto positiva quanto negativa.

Por outro lado, trabalhos realizados pelo grupo de pesquisas em ensino de física da Universidade de Bremen (WELZEL, 1998; WELZEL & AUFSCHNAITER, 1997; FISCHER & AUFSCHNAITER, 1992) descrevem, a partir de algumas categorias, a progressão dos níveis de complexidade das formulações dos estudantes, quando se engajam em discussões, com seus pares e professores, acerca de fenômenos físicos. Os autores afirmam ser impossível avaliar a aprendizagem com base em processos individuais e buscam, em lugar disso, evidências no processo de construção de significados em contextos de interação social frente a uma situação problema a ser examinada e manipulada pelos estudantes. Uma vez gravadas e transcritas, as falas dos estudantes são interpretadas e rephraseadas em “idéias”, a partir de suas ações e propósitos. Essas “idéias” são submetidas, então, à análise dos níveis de complexidade.

Welzel e colaboradores sugerem o uso de dez níveis de análise, em graus crescentes de complexidade, a saber: 1. objetos, com a distinção estável de figura/fundo; 2. aspectos, que consistem em correspondências entre objetos e/ou identificação de características específicas; 3. operações, ou seja, variações sistemáticas dos objetos de acordo com seus aspectos; 4. propriedades, construção de classes de objetos com base em aspectos comuns ou distintos; 5. eventos, que estabelecem correspondências entre propriedades estáveis de classes de objetos; 6. programas, com variação sistemática de uma propriedade de acordo com outras propriedades estáveis; 7. princípios, através da construção de covariações estáveis de pares de propriedades; 8. concepções, correspondências entre vários princípios com as mesmas ou com diferentes propriedades variáveis; 9. redes, com variação sistemática de um princípio de acordo com outros; 10. sistemas, construção de redes estáveis de variados princípios.

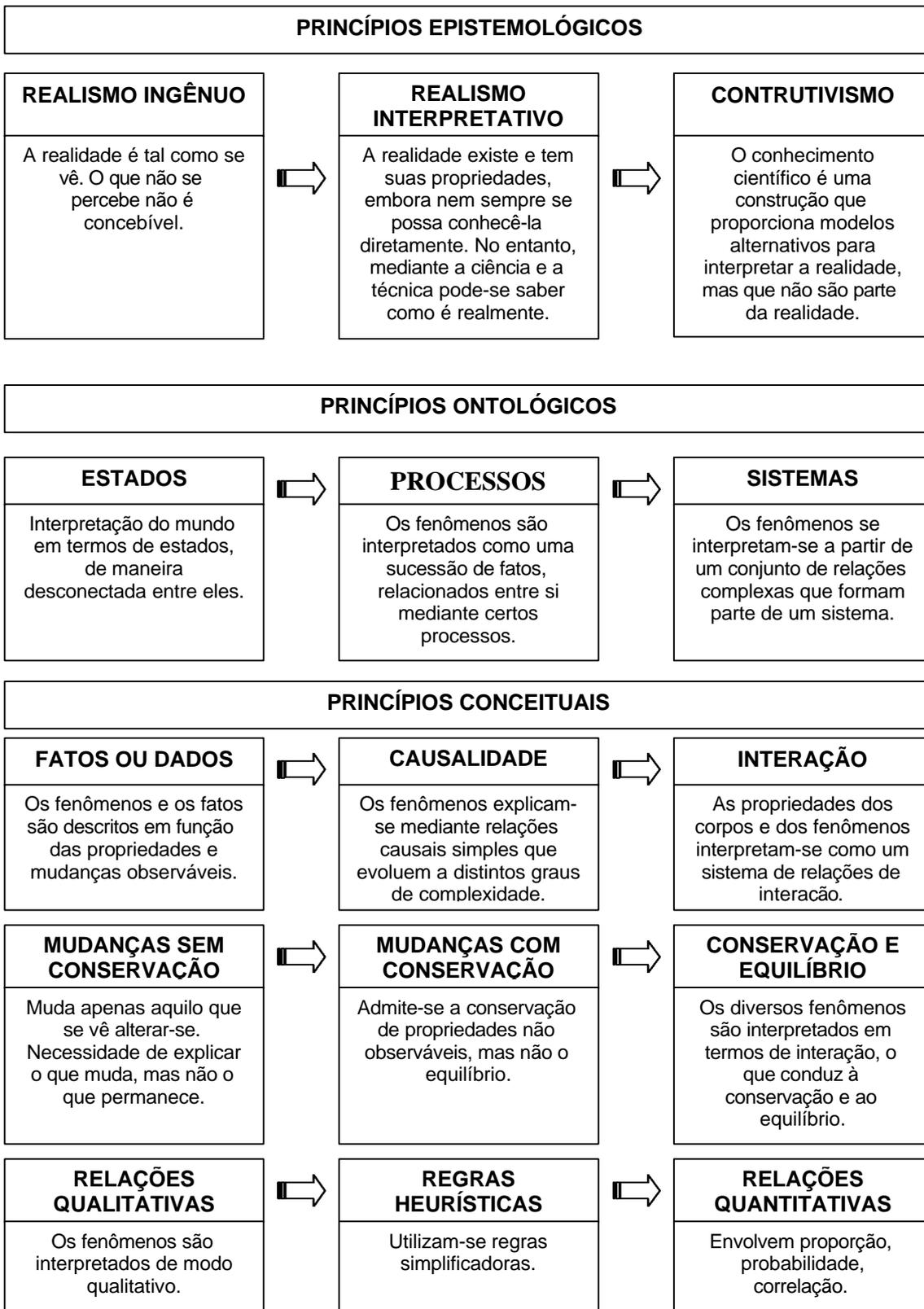
Os autores desenvolvem estudos diversos e sustentam que os alunos, engajados na ação e na discussão com seus pares, apresentam uma clara evolução, ao longo da tarefa, de níveis de abordagem mais baixos para níveis mais complexos. Por outro lado, afirmam que essa progressão não é linear e caracteriza-se por uma série de recuos, que indicam, porém, uma evolução gradual e uma estabilização a partir de determinado momento da tarefa. Além disso, esse desenvolvimento mostra-se fortemente vinculado a contextos específicos e dependente das interações atuais. Ao defrontarem-se com uma segunda situação, os estudantes partem de níveis de abordagem próximos àqueles em que estavam ao final da primeira e, então, prosseguem progredindo. Concluem os autores que o ensino deve engajar os estudantes dos níveis mais baixos aos níveis mais abstratos, procurando guiá-los na atividade de “cientificizar” o mundo e não, necessariamente, em orientá-los na obtenção de determinados conceitos, como produtos da ciência. Devemos ressaltar que os dados apresentados pelos autores não parecem suficientes para caracterizar todos os dez níveis propostos. Além disso, as categorias têm pouco a ver com explicações dos processos, e concentram-se, quase sempre, nas descrições dos mesmos. De todo modo, como veremos, a progressão de uma atenção dirigida aos objetos, passando por eventos e atingindo sistemas, parece indicar um caminho “natural” dos sistemas cognitivos.

MORTIMER (1999) propõe uma análise microgenética de explicações elaboradas por estudantes em situações de aprendizagem em ciências, em que decompõe o processo em uma seqüência de etapas, com a finalidade de destacar o que ocorre entre uma etapa e outra. As categorias de análise utilizadas foram elaboradas a partir de estudos filosóficos acerca do problema da causalidade na ciência. O autor sugere uma distinção inicial entre *descrição*, *explicação* e *generalização* na construção de interpretações de fenômenos por parte dos estudantes. A diferença entre descrições e explicações reside no fato de que as segundas atribuem relações entre entidades utilizadas para caracterizar os sistemas e se valem de mecanismos, ou modelos, para lidar com os fenômenos. Por sua vez, a generalização resulta de um esforço de descontextualização, tendo-se em vista que as explicações passam a ser vistas como atributos das entidades envolvidas e não apenas como propriedade de um fenômeno particular:

“A generalização completa o movimento de descontextualização/recontextualização em direção a uma relação puramente simbólica, intralingüística, entre os signos, não mais como referentes de objetos e fenômenos extralingüísticos, mas enquanto categorias gerais da matéria e dos fenômenos criados nas relações intralingüísticas” (MORTIMER, 1999, p.8).

Na análise do fluxo do discurso em sala de aula, Mortimer destaca um movimento progressivo de descontextualização ou recontextualização, que se desloca de descrições para explicações e generalizações. Destaca, além disso, que os estudantes apresentam uma tendência de utilizar generalizações previamente aprendidas como base para descrições de fenômenos a serem explicados, o que revela uma dinâmica entre essas categorias na construção de argumentos em situações de aprendizagem escolar.

POZO & GÓMEZ CRESPO (1998) apresentam uma análise dos processos de mudança cognitiva assentados sobre três dimensões - ontológicas, epistemológicas e conceituais. Para cada uma delas os autores descrevem formas de progressão sucessivas e majorantes, de modo a modificar substancialmente os princípios em que estão baseados, implicitamente, os modos de processamento e organização do conhecimento. Reproduzimos, a seguir, o quadro sintético das mudanças no sentido proposto pelos autores, cujas definições guardam algumas semelhanças com a proposição dos níveis intra, inter e trans-objetais no sentido proposto pelo modelo de ensino que iremos examinar:



Quadro 1: Três dimensões de mudança na aprendizagem em ciências (POZO & GÓMEZ CRESPO, 1998, p. 120).

Finalmente, a evolução dos entendimentos dos estudantes acerca da natureza do conhecimento científico, ou seja, a dimensão epistemológica da mudança, é descrita por LEACH, DRIVER, MILLAR & SCOTT (1997) segundo três modelos fundamentais. O primeiro deles consiste no raciocínio baseado em fenômenos, isto é, sem diferenciação entre evidências e inferências ou, ainda, descrições e explicações. Seu objetivo é o de produzir fenômenos novos e não o de compreendê-los ou explicá-los. O segundo caracteriza-se por um raciocínio que se apóia em relações ou correlações, de natureza indutiva, as quais se expressam predominantemente por causalidade linear. O terceiro compreende o raciocínio baseado em modelos, capaz de avaliar teorias com base em evidências e de reconhecer o caráter problemático e aberto da investigação científica. Os autores lamentam haver poucos estudos sobre os aspectos epistemológicos do conhecimento prévio dos estudantes e sua evolução ao longo da escolaridade. Embora entendam não haver hierarquia entre as três formas de raciocínio apresentadas (com o que discordamos), afirmam que poucos estudantes desenvolvem o terceiro modelo; havendo uma transição, com a idade, do primeiro para o segundo modelo, sendo este largamente predominante.

GROTZER & SUBDURY (2000) partem da hipótese de que a compreensão limitada da natureza da causalidade impede os estudantes de aprender conceitos complexos da ciência. As autoras organizam uma unidade de ensino sobre circuitos elétricos simples, em que procuram engajar os estudantes numa reflexão sobre a natureza da causalidade em si, no esforço de aumentar sua habilidade em manipular uma variedade de modelos causais complexos, necessários para se adquirir uma compreensão científica. Além do modelo de partida, expresso pela casualidade linear simples, as autoras consideram uma série de modelos conceituais intermediários, reconhecendo e nomeando, juntamente com os estudantes, suas características causais – modelo causal linear duplo, modelo seqüencial cíclico, modelo seqüencial cíclico simultâneo e modelo relacional ou interativo. Os resultados dessa estratégia foram amplamente favoráveis, quando comparados com os de uma turma de controle, que se orientou por uma abordagem tradicional do conteúdo, e com os de um outro grupo, em que as atividades realizadas foram as mesmas, exceto no que se refere às discussões acerca dos modelos causais envolvidos. Sugerem, como consequência, que o ensino sobre a natureza da causalidade simultâneo ao ensino sobre exemplos de explicações para fenômenos particulares é um poderoso instrumento auxiliar para a promoção de

mudanças. A consideração explícita das formas causais envolvidas promove atividades metacognitivas, o que significa aprender a participar do jogo da ciência. Pode-se acrescentar que a graduação dos níveis de complexidade tem, igualmente, contribuído no sentido de aumentar as possibilidades dos estudantes para progredir em direção aos modelos causais mais sofisticados.

O exame desses vários estudos permitem dizer que o problema proposto pelo modelo de ensino de que iremos tratar ao longo dessa pesquisa é pertinente, atual e compatível com os resultados, até o presente documentados pela pesquisa. O problema da graduação dos níveis de abordagem do ensino de modo compatível com os processos de aprendizagem não teve, até então, um tratamento teórico capaz de explicar e prever a direção dada à progressão dos níveis de entendimento dos estudantes. Por outro lado, os estudos empíricos, encontram-se, ainda, em fase bastante incipiente, o que justifica o esforço dessa pesquisa.

Antes de prosseguir na formulação do modelo, convém examinar os estudos realizados no campo da educação em ciências relativos à aprendizagem de conceitos da física térmica em nível elementar, conteúdo de nossa intervenção em sala de aula.

1.2. Estudos sobre Concepções dos Estudantes na Introdução à Física Térmica

Nesta seção, apresentamos uma breve revisão bibliográfica de estudos realizados no âmbito da pesquisa em educação em ciências relativos às concepções dos estudantes sobre tópicos de conteúdo de física térmica. Na seção seguinte, examinamos os desdobramentos desses estudos na elaboração de propostas didáticas para introdução dos referidos conteúdos no Ensino Fundamental e Médio. Nesta revisão, além das concepções acerca de calor, temperatura e propriedades térmicas dos materiais, procuramos documentar, também, pesquisas relacionadas à aprendizagem do conceito de energia, considerando os aspectos vinculados ao estudo da física térmica.

Tais trabalhos constituíram ponto de partida para o planejamento, desenvolvimento e avaliação das intervenções que acompanhamos em sala de aula. No momento em que planejamos e desenvolvemos o curso na Escola de Ensino Fundamental da UFMG, parte dessa produção era conhecida apenas por meio de revisões bibliográficas (DRIVER, SQUIRES, RUSHWORTH & WOOD-ROBINSON, 1994a, 1994b; ERICKSON & TIBERGHIE, 1985; TIBERGHIE, 1985). Apoiamo-

nos, sobretudo, nos estudos publicados em teses recentemente defendidas na área (TEIXEIRA, 1992; CASTRO, 1993; SILVA, 1995; CAFAGNE, 1996), que serviram como referência privilegiada para nosso estudo. Pelas características do trabalho que desenvolve a autora, a tese de Cafagne foi-nos especialmente útil, ao destacar elementos de aproximação ou rupturas entre as perspectivas científica e de senso comum sobre os fenômenos térmicos, a partir de um amplo estudo empírico junto a estudantes brasileiros de Ensino Médio. Aos poucos, fomos ampliando o leque de leituras, o que acabou por reforçar certos pontos de vista e, certamente, a refletir mais profundamente sobre outros.

Não iremos destacar as diferentes abordagens metodológicas das pesquisas, e reportamos o leitor aos capítulos das teses de SILVA (1995) e TEIXEIRA (1992) que o fazem, mesmo que brevemente. Na maior parte dos trabalhos consultados, as situações apresentadas aos estudantes envolvem um domínio restrito de fenômenos térmicos, em que não há realização de trabalho (exceções feitas a ROZIER & VIENNOT, 1991; SILVA, 1995; VAN ROON et al., 1995; e BENLLOCH, 1997).

Uma primeira e fundamental característica dos modos de pensar do senso comum sobre os fenômenos térmicos, largamente discutida pelas pesquisas, consiste em supor o calor e o frio como qualidades opostas, em lugar de extremos de um mesmo *continuum* (ERICKSON, 1979; 1985; TIBERGHIE, 1985). Tal característica aparece em três dos quatro modelos hierárquicos de pensamento descritos por CAFAGNE (1996)⁵. Segundo a autora, os “tipos” de calor – frio e quente – podem ser, ou não, excludentes entre si, apresentar diferentes afinidades com os materiais, ter efeitos e propriedades distintas e, ainda, determinar o sentido do fluxo de calor, conforme o sujeito considere, na situação analisada, as fontes de calor ou de frio.

Quanto ao calor, as concepções dos estudantes envolvem uma forte tendência à substancialização, muitas vezes relacionada à fumaça e ao vapor que emanam de objetos quentes (ERICKSON, 1979). A propósito dos movimentos do calor, ERICKSON (1985) destaca, nos repertórios dos estudantes, um motor interno –

5. No modelo I, encontram-se apenas descrições qualitativas das qualidades frio e quente; no modelo II, calor e frio são opostos, sendo um mais forte que o outro, do que resultam propriedades aditivas e subtrativas, quando se trata de determinar a temperatura final de equilíbrio; no modelo III, calor e frio são opostos, mas equivalem-se, podendo ser misturados; no modelo IV, finalmente, há referência a um só “tipo” de calor, ainda substancializado, que se propaga de corpos a temperaturas mais altas para aqueles a uma temperatura mais baixa.

propriedade intrínseca do calor – ou externo – o calor é conduzido ou transportado por algo. Assim, o calor é algo que perpassa a matéria, podendo estar contido nos corpos ou ser transferido de um lugar a outro. CAFAGNE (1996) salienta que, embora se reconheça a idéia de que “algo” seja transmitido nos processos que envolvem corpos a diferentes temperaturas, o que é transmitido pode receber o nome de calor, temperatura, frio, energia, sensação ou umidade. A autora destaca, também, que a concepção substancialista, embora apresente aspectos conservativos que a aproximam da perspectiva científica, pode representar sério obstáculo à idéia de transformação da energia envolvendo fenômenos térmicos. Os fluxos de calor, diz Cafagne, aparecem no repertório dos estudantes sem que se façam acompanhar pelas noções de transformação ou conservação da energia.

Alguns autores procuram tipificar as respostas dadas pelos estudantes forjando categorias como aquelas que apresentamos a seguir. As quatro primeiras foram formuladas por BURGHI & SUSSAN (1985), a partir de um estudo realizado junto a estudantes franceses (11-12 anos) e uruguaios (de 10 a 15 anos); as duas últimas foram propostas por GUESNE, TIBERGHIEU & DELACOTE (1978), em função da análise de entrevistas clínicas com crianças francesas de 10 a 12 anos:

1. Calor fonte, que comporta duas categorias, segundo a existência, ou não, de diferenciação entre calor e a fonte.
2. Calor estado, em que se destacam as propriedades do calor, divide-se em subcategorias segundo o aspecto considerado relevante – fluido, algo quente, oposto ao frio, uma temperatura elevada ou condição climática.
3. Calor efeito, que se expressa segundo seus efeitos, com destaque para os fisiológicos e as mudanças de estado físico.
4. Calor energia, em que se faz referência explícita ao conceito de energia.
5. Calor vida, que é considerado como atributo essencial à vida, sem o qual não se poderia fazer nada.
6. Calor transformação, que provoca transformações na matéria, como mudanças de estado físico e cozimento de alimentos; refere-se aos “poderes” do calor; aproxima-se, parcialmente, da categoria “calor efeito”, mas apresenta uma fenomenologia mais objetiva e menos centrada nas sensações do calor.

Deve-se ressaltar o fato de que esses estudos (BOURGHI & SOUSSAN, 1985; GUESNE et al. 1978) não sugerem hierarquias entre os elementos que compõem o “perfil conceitual” (MORTIMER, 1995) dos estudantes a propósito do calor, mas apenas estabelecem algumas tipologias.

Por sua vez, VEIGA et al. (1989), ao examinarem os conteúdos das explicações de professores portugueses⁶, propõem três categorias analíticas sobre o calor, em geral desenvolvidos simultaneamente:

1. Modelo substantivo, que descreve as qualidades do calor. Contido nos objetos, pode ser acrescentado ou subtraído de algo, ou ainda, ser transferido de um objeto a outro e viajar de um ponto a outro através dos materiais.
2. Modelo causal, que considera o calor como agente causal, de modo que um evento é relacionado com outro subsequente, na forma de cadeias causa/efeito. O calor é agente causal e não, mediador entre causa e efeitos.
3. Modelo de fluido, em que se acentuam os fluxos de calor como mecanismo de transferência. Sendo um fluido que é transportado de um lugar a outro, o calor pode deslocar-se através da matéria, o que sugere a existência de espaços vazios para que a transferência ocorra.

Os autores salientam que tais modelos, utilizados pelos professores ao referir-se ao calor em suas lições, espelham as noções dos estudantes, em geral, insatisfatórias e, algumas vezes, incorretas de um ponto de vista científico. O calor não costuma ser concebido como processo, por intermédio do qual pode ocorrer transferência de energia interna. As diferenças entre as conceituações espontânea e científica acerca do calor são assim caracterizadas por VAZQUEZ DIAZ (1987):

Concepção Espontânea de Calor	Conceito Científico de Calor
a. Não tem magnitude física de referência, ou tal magnitude é a temperatura; b. Está contido nos corpos; c. Calor e temperatura não estão claramente diferenciados; d. O frio é o contrário (ou a ausência) do calor.	a. Implica a presença de, pelo menos, dois sistemas; b. Os sistemas devem estar a diferentes temperaturas; c. Há que se assegurar condições de interação térmica; d. Existe um claro referente para o calor, que é a energia; e. É destacada a situação de transferência de energia.

⁶ Embora analisando o repertório dos professores, o trabalho de VEIGA et al. (1989) examina os modos como o discurso em sala de aula se aproxima de idéias intuitivas de calor, energia e temperatura, tal como identificados na pesquisa desses autores.

Quanto ao aspecto causal das concepções espontâneas de calor, vários autores procuram especificar os modos como tais raciocínios se desenvolvem e suas conseqüências nas interpretações dadas aos fenômenos. Muitos trabalhos vêem nas relações lineares causa/efeito uma das características centrais das concepções espontâneas (DRIVER et al., 1995; ROZIER & VIENNOT, 1991; ANDERSON, 1986; GUTIERREZ & OGBORN, 1992). Seguem-se alguns exemplos desse raciocínio, quando aplicados aos fenômenos térmicos:

- ✓ Assimetria entre o papel do agente e o do paciente, resultando uma transmissão de calor – em oposição à transferência, que supõe interações – sem que os objetos envolvidos sofram transformações (CAFAGNE, 1996); dificuldades em considerar, a um só tempo, ambas as partes, quente e fria, na análise dos fenômenos térmicos (VIENNOT, 1997);
- ✓ Tendência a focar aspectos particulares do fenômeno, sem considerar o processo como um todo (VIENNOT, 1997). Assim, alguns sujeitos não admitem, por exemplo, que diferentes materiais atinjam a mesma temperatura ao serem colocados, por um longo tempo, em um forno a 60°C, *“pois o metal aquece mais depressa”*, o que indica uma indiferenciação entre a taxa de aquecimento – processo – e o estado final do sistema.
- ✓ O efeito é diretamente proporcional à causa e inversamente proporcional à resistência que previne o efeito. Neste caso, o calor é a causa e a elevação de temperatura é o efeito, a que os materiais resistem de maneiras diversas. Este esquema, muito simples e bastante versátil, explica os fenômenos sem fazer necessário qualquer distinção física entre calor e temperatura, o entendimento do sentido dos fluxos de calor ou, ainda, considerações sobre balanço energético (KESIDOU & DUIT, 1993). O raciocínio resultante é não-conservativo. Por exemplo, ao explicar o aquecimento de quantidades iguais de água e álcool a uma mesma temperatura (o que requer um maior tempo de contato da água com a fonte), um estudante afirma: *“O calor que os dois atingem é o mesmo. As temperaturas são iguais, isto é, eles têm o mesmo calor, mas eles usam calores diferentes para alcançar o mesmo calor.”* Não havendo diferenciação entre calor e temperatura, não há possibilidade de se estabelecer uma relação entre ambos, o que resulta na inexistência de propriedades relacionadas à capacidade térmica dos materiais.

- ✓ Efeitos simultâneos são considerados como seqüenciais e sem relação um com outro. Em situação de equilíbrio dinâmico, um dos sujeitos entrevistados por ARNOLD & MILLAR (1994), pressupõe que a temperatura da água aquecida pela chama de uma vela não se estabiliza definitivamente como indica o termômetro, mas oscila: aumenta, depois diminui, torna a aumentar, diminui em seguida, e assim por diante. Nesse caso, o calor transferido pela chama e o calor dissipado ao ambiente atuam em seqüência e não simultaneamente. A tendência em conferir explicações como narrativas seqüenciadas de acontecimentos é, também, destacada na pesquisa de CAFAGNE (1996).
- ✓ Tendência a considerar aspectos isolados de um sistema. Apenas aspectos evidentes e perceptíveis são levados em consideração, em detrimento de outros. Na pesquisa de ARNOLD & MILLAR (1994), a chama é vista por todos como fonte de calor, mas o mesmo não ocorre com a caneca com água morna em relação ao ar.

Em contraste com tais perspectivas, a termodinâmica trabalha com a comparação entre os estados inicial e final de processos, a partir da análise das variáveis que compõem o sistema em questão. Não opera com a idéia de cadeias de causas e efeitos, mas considera uma causalidade formal, constituída por sistemas de princípios abstratos que determinam restrições ao que pode acontecer. Além disso, a teoria termodinâmica provê sistemas de regulação de processos simultâneos.

A fenomenologia dos processos de aquecimento é outro aspecto destacado em vários estudos, segundo os quais não se pode generalizar a observação de que os estudantes são capazes de explicar corretamente variações de temperatura mediante fluxos de calor. SCARRETA et al. (1990), por exemplo, destacam que, em situações de contato direto com uma fonte de calor, os estudantes estabelecem as seguintes relações:

- Quanto maior o contato, mais quente o objeto.
- Objetos maiores requerem um tempo maior para serem aquecidos.
- Diferentes objetos requerem tempos distintos para serem aquecidos.
- Após a interrupção do contato, mais cedo ou mais tarde, o objeto aquecido retorna espontaneamente ao seu “estado natural”, ou seja, à temperatura que lhe é própria.

Este último aspecto é, também, destacado por ARNOLD & MILLAR (1994), que o interpretam segundo o modelo causal referido anteriormente: se o agente –

aquecedor – é removido, cessa o efeito – elevação de temperatura – e, conseqüentemente, a temperatura volta ao normal. Os autores apontam ainda que esse modelo “ligado/quente; desligado/frio” é amplamente empregado na operação de aquecedores. Do mesmo modo, KESIDOU & DUIT afirmam que “*alguns estudantes parecem não se dar conta de que todo processo de resfriamento requer um parceiro para interação. Parece que têm a idéia de que os corpos podem resfriar-se espontaneamente, sem nenhum outro corpo (mais frio) envolvido*” (1993, p. 97). Segundo TEIXEIRA (1992), em situação de resfriamento de sistema aberto, ar e objeto são considerados um só sistema, sendo desprezadas as interações entre eles. TIBERGHIEEN (1985) chama a atenção para determinadas noções elementares – como o incremento da temperatura com o calor –, que são, muitas vezes, equivocadamente consideradas familiares e aproblemáticas para as crianças. Por outro lado, a mesma autora ressalta que os estudantes não parecem considerar mecanismos explicativos para situações por eles consideradas evidentes e naturais – como, por exemplo, o fato de que algo quente aqueça e algo frio esfrie.

Assim, conclui TIBERGHIEEN, “*não pensemos que, para os estudantes, a idéia de calor como parâmetro de interação predomina em suas explicações, em todas as situações em que a utilizaria um físico*”(1985, p. 131). A autora destaca duas dificuldades adicionais na interpretação de fenômenos térmicos: 1. Os estudantes não levam em consideração todos os sistemas que atuam, especialmente o ar ambiente – hipótese também confirmada pelos trabalhos de ARNOLD & MILLAR (1996) e de TEIXEIRA (1992) –; 2. Não se cumpre sempre a condição de que o calor vá sempre de um lugar, a temperatura mais elevada, para outro, a temperatura mais baixa.

Tais evidências, que encontramos também em nosso estudo, refutam a conclusão, a nosso ver apressada e equivocada, de ERICKSON (1985, p. 102), para quem “*a maioria dos alunos é plenamente consciente da transferência de calor desde os objetos que estão a uma maior temperatura para os que estão a uma temperatura mais baixa e dispõem de uma série de intuições acerca de possíveis mecanismos que sustentam o processo*”.

Enquanto um físico pensa em sistemas em interação, sendo o calor um dos parâmetros de interação energética, os estudantes raciocinam a partir de objetos e, para

interpretar situações, empregam, normalmente, as propriedades e as funções dos objetos, bem como os fatos observáveis ou perceptíveis (TIBERGHIE, 1985).

Os estudantes demonstram, em geral, capacidade em identificar isolantes e condutores. Isso não significa, porém, compreensão adequada da transferência de calor e do isolamento térmico (VIENNOT, 1997). Em primeiro lugar, para eles, a condutividade térmica apresenta-se como uma qualidade absoluta, sem quantificação ou gradação possível. Em segundo, a condição de condutor/isolante é, na sua visão, assimétrica conforme se consideram coisas quentes ou frias. Materiais que provocam frio ao serem tocados – metais, vidro – são considerados mais adequados para manterem o frio e objetos neutros ou mornos ao tato – lã, algodão – servem para manter as coisas quentes (LEWIS & LINN, 1994). Segundo CAFAGNE (1996), em algumas situações, a condutividade substitui a temperatura na determinação do sentido do fluxo de calor.

Quanto às concepções acerca da temperatura, os estudantes, com frequência, consideram-na como qualidade própria dos materiais (KESIDOU & DUIT, 1993), que resulta da facilidade com que o calor, ou o frio, entra e sai do material, da atração que oferece ao calor e, ainda, das propriedades decorrentes de sua constituição microscópica – velocidade, inércia ou distância entre partículas. Além disso, embora tenham experiências com termômetros, o uso da temperatura para descrever a condição de um objeto é bastante limitado (ERICKSON, 1985), mesmo porque dominam as percepções e qualidades atribuídas aos objetos. Outras vezes dão à temperatura um significado semelhante às suas origens históricas, ou seja, como mescla de calor e frio (SILVA, 1995).

A dualidade calor/frio, decorrente, em última instância, das sensações ao tato (SCIARRETA et al., 1990), tem importantes conseqüências para a não-identificação do equilíbrio térmico entre diferentes materiais em um mesmo ambiente. Na pesquisa desenvolvida por THOMAZ et al. (1995), estudantes portugueses de 15-16 anos de idade expressavam, em contextos variados, a crença na desigualdade de temperaturas de diferentes materiais em um mesmo ambiente. Em trabalho anterior (AGUIAR JR., 1999), tivemos a oportunidade de destacar a complexidade dos esquemas e relações envolvidos quando se trata de superar as contradições entre as diferentes sensações térmicas ao tato e as indicações dos termômetros em situações de equilíbrio térmico. Por outro lado, o estudo conduzido por CAFAGNE (1996) permite concluir que, mesmo

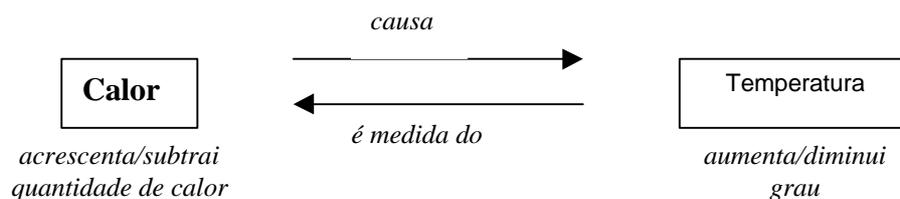
quando os estudantes reconhecem uma situação final de equilíbrio térmico, interpretam-no, muitas vezes, como uma espécie de “ponto neutro”, onde nada ocorre, ou seja, como resultado de um equilíbrio entre o quente e o frio à temperatura ambiente.

SCIARETTA et al.(1990) sugerem que parte das dificuldades em assimilar a noção de equilíbrio térmico se deve ao fato de que a lei, por referir-se a sistemas isolados, raramente se aplica à fenomenologia da vida real. Essa opinião é também apontada por LABURU et al. (2000), a partir da análise de um episódio de ensino em que uma aluna questiona seu professor quanto à generalidade do equilíbrio térmico apresentando contra-exemplos sucessivos – a lâmpada na sala, o próprio corpo e diferentes lugares no interior de uma geladeira. ARNOLD & MILLAR (1994) examinam o problema em situações que envolvem equilíbrio dinâmico e destacam as dificuldades dos estudantes em considerar adequadamente os sistemas em interação.

Os estudantes formulam diferentes suposições sobre as relações entre calor e temperatura, apresentadas, a seguir, hierarquicamente: 1. temperatura é estado de frio ou quente, enquanto calor é temperatura elevada; 2. temperatura é aquilo que passa de um corpo para outro; 3. temperatura é a medida do calor; 4. temperatura é concentração de calor, ou seja, quantidade de calor por volume do material; 5. intensidade e quantidade de calor diferenciam-se entre si (TIBERGHIE, 1985; KESIDOU & DUIT, 1993). Os estudos têm procurado evidenciar as diferenças entre propriedades extensivas – como o calor – e intensivas – como a temperatura. Se dois sistemas idênticos são colocados juntos, as quantidades intensivas permanecem as mesmas, mas as quantidades extensivas são adicionadas. Várias pesquisas têm indicado a tendência dos estudantes, sobretudo dos mais jovens, a considerar a temperatura como propriedade extensiva. Entre os mais velhos, aparece, muitas vezes, a suposição contrária, de que a temperatura diminui com a adição de matéria, o que revela a construção de uma noção de “concentração de calor” (DRIVER et al., 1994). Desse modo, a diferenciação entre calor e temperatura tem-se mostrado uma das tarefas mais difíceis para os estudantes na educação em ciências (SUMMERS, 1982; TEIXEIRA, 1992).

Assim como fizeram com o calor, VEIGA et al. (1989) construíram categorias para analisar o discurso dos professores sobre temperatura, que coincide, em muitos aspectos, com as representações dos estudantes:

1. Modelo de relação reversível, que é descrito, sumariamente, neste diagrama:



2. Modelo causal, em que a temperatura é tomada como causa, em lugar de ser considerada um efeito. Embora este modelo pareça contraditório em relação ao anterior, ambos são, muitas vezes, complementares, já que algo – uma causa – provoca um aumento de temperatura – efeito – e isso, por seu turno, é causa de outros efeitos – aumento da colisão entre as partículas, aumento da velocidade das reações químicas, e outros.

Outro aspecto relacionado às concepções dos estudantes refere-se à maneira como utilizam modelos de partículas para explicar fenômenos térmicos. Vários estudos indicam que poucos utilizam espontaneamente os modelos microscópicos em suas explicações e, quando o fazem, cometem muitos erros (KESIDOU & DUIT, 1993; TEIXEIRA, 1992), sendo freqüentes as atribuições de propriedades macroscópicas às partículas. BENLLOCH (1997) destaca, por exemplo, interpretações segundo as quais o calor aquece as partículas ou, ainda, modifica seu peso ou volume. A pesquisa de KESIDOU & DUIT (1993) revela que alguns estudantes explicam o aquecimento dos materiais considerando que o atrito ou colisão entre as moléculas produz calor; outros, ainda, afirmam que as partículas diminuem seu movimento até parar. ROZIER & VIENNOT (1991) fazem referência a contradições na interpretação dada às mudanças de estado físico, em função do encadeamento causal linear entre as variáveis em jogo – temperatura, distância entre as partículas, energia cinética média das partículas, forças intermoleculares e estado de agregação. Apontam, além disso, para a crença generalizada de que partículas em sólidos têm sempre menor energia cinética do que em líquidos e gases. No estudo de TEIXEIRA (1992), os modelos substancialista e cinético molecular são utilizados pelos estudantes de modo simultâneo, aparentemente sem conflito ou tomada de consciência.

VAN ROON et al. (1994) relatam experiências em tópicos avançados de termodinâmica na Universidade de Utrecht (Holanda), desenvolvidas a partir de uma estratégia em que a aprendizagem de calor e trabalho no contexto termodinâmico é elaborada pelos próprios estudantes, considerando seus próprios contextos como ponto

de partida. Os autores destacam as seguintes dificuldades dos estudantes: 1. processos adiabáticos são considerados como possuidores de calor constante, ou seja, o calor é tido como algo contido no corpo; 2. o sistema e a vizinhança não são considerados nos processos investigados; considera-se, em lugar disso, os objetos, de modo isolado; 3. inexistência de uma diferenciação entre energia mecânica e energia termodinâmica interna; 4. a energia pode ser convertida em calor e vice-versa (calor como “forma de energia”).

A partir dessa análise, Van Roon e colaboradores sugerem a existência de quatro níveis de desenvolvimento do conceito de calor, sendo o primeiro deles pré-científico e os três outros correspondentes ao desenvolvimento histórico da física:

Nível I	Concepção Pré-científica	<ul style="list-style-type: none"> • Origem empírica/perceptiva • Dicotomia frio/quente • Indiferenciação entre calor e temperatura
Nível II	Concepção Substancialista	<ul style="list-style-type: none"> • Conservação do calor • Fluxo de substância imponderável responsável pelos efeitos térmicos observáveis.
Nível III	Concepção Energética do Calor	<ul style="list-style-type: none"> • Equivalências e conversões de calor em trabalho • Princípio Geral de Conservação de Energia • Calor como “forma de energia” • Objetos “possuem” calor (movimento aleatório de partículas)
Nível IV	Concepção Termodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> • Não há conversões, apenas conservação da energia interna • Calor e Trabalho como processos distintos de transferência de energia. • Diferenciação entre calor e energia interna.

O conceito de energia interna mostra-se ausente nos repertórios do pensamento comum em termodinâmica, mesmo quando se consideram estudantes do Ensino Médio após o estudo formal desse tópico do currículo (CAFAGNE, 1996). Do mesmo modo, a conservação da energia parece ser, para eles, o aspecto mais difícil desse conceito, o que não surpreende quando se consideram suas experiências como “consumidores” de energia (DUIT, 1981; LIJNSE, 1990; DUIT & HAUESSLER, 1994; KESIDOU & DUIT, 1993). Para Duit e Hauessler, o conceito científico de energia envolve quatro

aspectos fundamentais, a saber: 1. transformação; 2. transferência ou fluxo; 3. Conservação; e 4. degradação. Destacam o princípio de conservação como o aspecto central do conceito, e procuram ressaltar que ele pode tornar-se compreensível para os estudantes apenas se os outros aspectos forem também desenvolvidos.

Para os autores, o conceito de energia, que é um conceito matematizado e altamente abstrato, distingue-se radicalmente do sentido comum, em que se acentua seu caráter causal, não-conservativo e quase-material. A degradação da energia não é convenientemente compreendida pelos estudantes, assim como a contradição entre conservação e degradação; ao contrário, eles tendem a pensar que a energia não é “perdida” nas transformações, visto que a consideram como causa de efeitos diversos – e úteis –, embora nenhuma energia seja identificada ao final do processo (DUIT & HAUESSLER, 1994). De modo semelhante, os estudantes holandeses entrevistados por LIJNSE (1990), quando solicitados a falar sobre “conservação de energia”, mencionavam conhecimentos ligados a prevenção de perdas, utilização com parcimônia e preservação de fontes energéticas. O paradoxo entre o princípio de conservação de energia e a crise energética não é um problema para os estudantes, ou seja, constitui um paradoxo apenas do ponto de vista da física e não dos estudantes.

Os significados atribuídos à energia nos contextos de vida cotidiana foram agrupados em quatro grandes temas por SOLOMON (1992): 1. Energia como propriedade dos seres vivos (no sentido de serem ou estarem “energéticos”); 2. Energia como algo de que se precisa para realizar atividades (especialmente exercícios físicos); 3. Energia como algo relativo a máquinas e combustíveis e/ou fenômenos naturais; 4. Aspectos e questões relacionadas ao uso social da energia. A autora destaca que a perspectiva do senso comum aceita um amplo grau de variação semântica, fortemente vinculado ao contexto de conversação em que se insere.

Estudo conduzido por HENRIQUES (1996) permitiu à autora destacar como aspectos centrais das concepções de senso comum sobre energia, seu caráter material e causal, assim como as relações com movimento/ação. LIJNSE (1990), ao analisar o perfil de respostas dos estudantes segundo os modelos propostos por Watts, conclui tratar-se de um conceito fortemente antropomórfico, material, causal e não-quantificável. Nas representações dos estudantes, energia é algo consumível e que se perde com o uso; existe objetivamente mas, por alguma razão obscura, ocorre através de muitas formas ou tipos.

No quadro que se segue, apresentamos as categorias propostas por VEIGA et al. (1989) e WATTS (1983) para a conceituação espontânea de energia, em que se podem observar várias proximidades entre elas. Tais tipificações devem ser consideradas como formas de raciocínio que não se excluem e, muitas vezes, são desenvolvidas simultaneamente por um mesmo sujeito na análise de uma mesma situação. Convém destacar que os autores não mencionam qualquer hierarquização entre as categorias propostas.

VEIGA et al (1989)	WATTS (1983)
1. Modelo antropocêntrico: a energia é algo relacionado aos seres vivos e ao homem (recarregável por meio da alimentação, exercício ou repouso).	1. Modelo antropocêntrico: a energia é relacionada a comportamentos e atributos humanos – ser energético, ter energia nele mesmo, como algo vivo.
2. Modelo energético: a energia é associada à matéria viva e inanimada, possuindo a qualidade de poder “fazer coisas”.	2. Modelo depositário de energia: a energia é fonte de força. Poder associado ao objeto e não ao processo envolvido. Classifica objetos em três grandes grupos: os energéticos (que são fonte de energia) os consumidores (que necessitam energia para funcionar) e os neutros, normais ou “naturais”.
3. Modelo fonte/consumidor: a energia é fonte de força, movimento e atividade, o que faz as coisas funcionarem. Alguns objetos são considerados fonte de energia (contêm energia em excesso) e outros como consumidores (precisam de energia oriunda de alguma fonte).	3. Energia como ingrediente: A energia não é agente causal, mas reativo a uma ocorrência que “dispara” o processo, fazendo algo acontecer. Ex: a energia não está no carvão, mas é liberada durante a queima.
4. Modelo funcional: a energia é o principal ingrediente de processos funcionais, tomados como úteis e necessários para tornar a vida mais agradável.	4. Energia como atividade: o sujeito coisifica processos. Assim, a energia não é causa de uma ação, mas ela é a própria ocorrência em si.
5. Modelo transformacional: a energia é considerada um ingrediente de transformações químicas ou físicas.	5. Energia como produto: a energia é substancializada, ou seja, é tomada como subproduto de processos, como uma transmutação química.
6. Modelo Fluido: a energia é transferível de um objeto a outro, como fluxo, em movimento.	6. Modelo funcional: finalista (serve para...); a energia é analisada do ponto de vista de sua utilidade prática, sobretudo relacionada a operação de dispositivos tecnológicos.
	7. Modelo de fluxo de energia: a energia é vista como algo fornecido, transportado, conduzido, etc.

Para concluir, pode-se destacar que as concepções dos estudantes sobre os tópicos calor, energia e temperatura se encontram suficientemente caracterizadas pela pesquisa educacional, embora se possa ressaltar, em muitos destes trabalhos, a ausência de um referencial teórico que permita compreender sua gênese e evolução.

Existe, ainda, uma discordância entre aqueles que entendem tratar-se de um “*conhecimento solidário a uma estrutura*” (CAFAGNE, 1996), o que explica sua persistência, e outros que concebem tal conhecimento como “*explicações fragmentadas e contraditórias*” (LEWIS & LINN, 1994), dada sua forte dependência de contexto. A primeira interpretação parece mais apropriada, e algumas contradições apontadas podem ser previstas a partir de esquemas fortemente sustentados por crenças epistemológicas e ontológicas bem consolidadas. LEWIS & LINN (1994, p. 673), por exemplo, consideram contraditória a escolha de uma folha de alumínio, primeiro, com o propósito de manter objetos frios e, segundo, para cobrir um objeto frio objetivando-se avaliar mais adequadamente sua temperatura. Para os autores, a contradição inerente a esses dois procedimentos, quando comparados entre si, não é percebida pelos estudantes, porque seu conhecimento é insuficientemente integrado. Entretanto, se partimos da suposição epistemológica de que “o mundo é tal qual o percebo” ou de que “as sensações correspondem às qualidades dos objetos”, não há contradição entre tais escolhas. O sujeito dirá que o objeto frio, ao ser coberto por uma folha de alumínio, permanece frio pois ele o percebe desse modo.

Segundo VOSNIADOU (1994), a teoria de referência para o domínio dos fenômenos térmicos é baseada em pressupostos ontológicos e epistemológicos. Do ponto de vista ontológico, sustenta-se na crença de que “*objetos têm propriedades*” e de que “*calor e frio são propriedades dos objetos*”. Do ponto de vista epistemológico, derivam da convicção de que “*as coisas são como aparentam ser*” e que “*algo existe apenas se é detectável por nossos sentidos*”.

1.3. Estudos sobre Propostas Didáticas para a Introdução à Física Térmica

Poucos tópicos do ensino de ciências, como a introdução à física térmica, permitem destacar, com tamanha evidência, os conflitos entre aqueles que organizam o currículo tendo por referência apenas uma leitura acerca da estrutura lógica dos conteúdos e outros que a submetem, além disso, a considerações a propósito dos

processos de aprendizagem, reconhecendo as necessidades formativas dos estudantes, seus conhecimentos e interesses prévios e o modo como reorganizam, ampliam e reformulam seus conhecimentos.

A posição do primeiro grupo é sustentada, sobretudo, a partir da análise de textos didáticos para o ensino de ciências em nível básico, comparando-se suas formulações com as teorias físicas de referência. No campo da didática da física térmica e da termodinâmica, tal debate foi introduzido no início da década de 70, com os artigos de ZEMANSKY (1970) e WARREN (1972). Entre os erros cometidos por esses livros na abordagem elementar dos conteúdos de física térmica, Zemansky destaca: 1. a referência ao “calor de um corpo”; 2. o uso de calor (*heat*) como um verbo; 3. a introdução do conceito de “energia térmica” significando ora calor, ora energia interna. O autor afirma que as tentativas de simplificação, evitando-se o uso dos conceitos de energia interna e trabalho, seria desejável se fosse possível, mas não o é de fato. Para ele, é mais simples procurar definir energia interna em termos das energias cinética e potencial das moléculas e, então, indicar trabalho e calor como duas formas de transferência de energia, o que evitaria o abandono de falsas idéias pelos estudantes em estudos futuros:

“Se o conceito de energia interna é o obstáculo fundamental, é melhor começar a tratá-lo em termos moleculares e focar a atenção dos alunos em Q e W como métodos para a produção de mudanças na energia interna. Acredito que esse tratamento possibilita a transição mais suave entre a física térmica elementar e a termodinâmica genuína.” (1970, p. 300)

A inconsistência lógica dos conceitos, na forma como são apresentados nos textos de física elementar, é o aspecto mais criticado por WARREN (1972). Além da ambigüidade do conceito de “energia térmica”, o autor menciona o fato de serem evitadas, nessas abordagens, as referências à energia potencial intermolecular, o que gera novas dificuldades no entendimento do conceito de energia interna.

Em artigos posteriores, destinados a discutir a didática do tópico energia no currículo de ciências, WARREN (1982; 1983) defende a idéia de que o currículo de ciências deve comunicar, corretamente e do modo mais simples possível, a estrutura de conhecimentos científicos. Ele considera insatisfatórias tanto as abordagens tradicionais quanto os novos enfoques, em que se substitui o conceito preciso de energia por uma imagem vaga e indefinida de uma substância, à qual é dado o nome “energia”, que se supõe ter uma existência concreta nas experiências cotidianas das crianças. Para o autor,

“energia é um conceito avançado e abstrato, a capacidade de um corpo de realizar trabalho. É uma medida quantitativa da condição do corpo e deve ser diferenciada, de modo muito cuidadoso, das medidas de processos, como trabalho e ‘transferência’ de calor” (WARREN, 1983, p. 210). Defendendo a estrutura hierárquica dos conceitos em teorias científicas, Warren considera que nenhuma quantidade científica tem qualquer significado se isolada de conceitos mais elementares a partir dos quais é definida. Sugere que a palavra “energia” seja simplesmente banida do repertório dos professores de física em níveis elementares, de modo que o conceito possa ser introduzido formalmente, em fases mais avançadas da escolaridade, ancorado com firmeza nos conceitos de força e trabalho.

Em oposição às teses de Warren, mas compondo uma mesma visão formal dos conceitos a serem desenvolvidos pelo ensino, LEHRMAN (1973) faz uma crítica ao modo como o conceito de energia vem sendo apresentado na escola básica, a partir da definição de “energia como capacidade de realizar trabalho”. Segundo ele, tal definição apresenta três problemas básicos: 1. é vazia de conteúdo, servindo apenas para efeito de memorização; 2. deforma a compreensão de problemas sociais importantes acerca da disponibilidade de fontes de energia; 3. não é correta. Retomando a história da construção do conceito, ele conclui que a energia se torna um conceito na física na medida em que se postula sua conservação. Assim, *“qualquer definição de energia que não seja baseada na propriedade da conservação é fundamentalmente errada.”* Para o autor,

“Energia é uma quantidade que tem a dimensão do trabalho e é conservada em todas as interações. Ela deve ser definida em termos de um conjunto de expressões algébricas, escritas de modo tal, que sua soma não varia quando o sistema em estudo está isolado. A energia transferida de um sistema para outro pode ser denominada trabalho, calor, radiação, uma variedade de nomes dependentes do modo de transferência. E, em cada transformação, a quantidade de trabalho que pode ser realizada diminui.” (p. 18)

SUMMERS (1983), ao realizar a análise de textos didáticos de física elementar sobre o tópico “calor”, destaca equívocos no uso da linguagem na interpretação de fenômenos, sobretudo no campo da calorimetria. Assim, a equação “calor cedido = calor absorvido” conduz à idéia de que o calor, assim como a carga elétrica, é uma grandeza que se conserva e está contido nos objetos. Por sua vez, “a capacidade térmica” dos objetos conduz à interpretação de que os materiais têm capacidade para armazenar “algo” que se denomina calor. Para o autor, as dificuldades poderiam ser

contornadas se, no ensino de ciências, não se utilizasse o substantivo “calor” (*heat*), mas os verbos correspondentes ou substantivos derivados destes, que indicam processos, como aquecer (*to heat*) ou aquecimento (*heating*). Além da mudança na linguagem utilizada, Summers defende que a abordagem mais conveniente à introdução à termodinâmica é aquela que desenvolve um tratamento estatístico para apresentar os conceitos fundamentais de equilíbrio termodinâmico, temperatura, energia interna e entropia em nível microscópico.

Inspirado nessa mesma análise da didática das ciências a partir de considerações acerca do conteúdo das teorias físicas, MCLLDOWIE (1995) critica o modo como o conceito de energia é introduzido no Projeto Nuffield e em muitos outros textos nele inspirados. Tais abordagens apresentam diferentes formas de energia em diferentes situações, estabelecendo cadeias de transferências e transformações de energia à medida que os processos ocorrem. Segundo o autor, essa abordagem qualitativa e descritiva deve ser abandonada em favor de uma abordagem quantitativa, pois leva os estudantes a pensar em objetos isolados ou em partes individuais de um sistema como possuidores de energia em si mesmos, sem que se faça referência a outros objetos ou partes do sistema. Além disso, conduz à idéia indesejável de uma substância, nomeada de diferentes modos, que é contida e se transfere de um objeto a outro.

Essas observações, realizadas a partir da análise da estrutura dos conhecimentos físicos, visando derivar delas recomendações didáticas, têm sido consideradas insuficientes e equivocadas por duas razões complementares. A primeira é decorrente das metas da educação em ciências na escola básica. Como sinaliza BEN-ZVI (1999), de um lado, encontram-se aqueles que defendem um currículo destinado a prever uma sólida formação para aqueles que vão prosseguir nos estudos científicos. Para esses, a questão central da didática consiste em examinar as melhores formas de prover uma visão correta e atual da disciplina, com a máxima precisão dos conceitos apresentados. De outro lado, situam-se aqueles que defendem uma alfabetização científica e tecnológica voltada para todos. Nesse caso, a questão passa a ser como garantir abordagens curriculares que sejam cientificamente significativas e, ao mesmo tempo, relevantes tanto pessoal quanto socialmente.

A segunda razão consiste em examinar, para além das estruturas conceituais da física, sua gênese histórica e psicogenética e os processos de apropriação de

conhecimentos por parte dos sujeitos da aprendizagem. Essa é a tese básica que define a didática das ciências como campo próprio de investigação:

“Pode-se destacar que a didática deve, necessariamente, fundamentar-se sobre um bom conhecimento da disciplina ensinada, da psicologia cognitiva e da história da disciplina e que a problemática e a metodologia que ela própria deve elaborar podem permitir, em troca, a colocação de importantes questões à psicologia, à epistemologia da disciplina, e à própria disciplina” (VERGNAUD, HALBWACHS & ROUCHIER, 1978, p.14).

As primeiras observações, referentes aos objetivos da educação em ciências, são particularmente importantes quando se consideram questões relativas ao ensino de energia, um dos tópicos em destaque nas abordagens CTS⁷. Para LIJNSE (1990), é necessário distinguir relevância teórica de relevância pragmática na escolha de conteúdos e abordagens de ensino. Apenas do ponto de vista da relevância teórica, propostas como as de SUMMERS (1983) e WARREN (1982) poderiam fazer sentido. Lijnse argumenta que é quase impossível falar fisicamente, de modo correto e consistente, sobre conceitos como calor e temperatura. Para tanto, os físicos valem-se não apenas de definições rigorosas mas sobretudo de uma precisão decorrente do uso de linguagem matemática. Quanto à relevância prática, o aspecto fundamental é saber como podemos estender o conceito de calor de modo a torná-lo mais útil aos estudantes.

Ao considerar tais aspectos, Lijnse afirma que os objetivos educacionais devem ser repensados, assim como a extensão do desenvolvimento dos conceitos físicos, o que se aplica especialmente ao ensino elementar. Baseando-se, simultaneamente, em perspectivas construtivistas e em abordagens CTS, o autor sugere uma abordagem a partir de três níveis hierárquicos do conceito de energia, resumidos a seguir:

⁷ Abordagens que consideram como conteúdo essencial do ensino de ciências o entendimento das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, em suas múltiplas dimensões.

Nível Básico	Trata de situações cotidianas de modo descritivo, a partir de noções intuitivas, sem que seja possível selecionar ou estabelecer limites entre o mundo físico e as experiências pessoais mais amplas.
Nível Funcional	Situa-se como prolongamento do anterior, mas busca a solução de um problema prático. As noções cotidianas são, agora, quantificadas e relacionadas, partindo da idéia de que a energia é algo material que se perde nas transformações. Para reduzir essas perdas, medidas são feitas e seus efeitos podem ser calculados. Os alunos devem ser capazes de argumentar e agir em situações práticas, embora não possam, ainda, desenvolver um sistema explicativo e teórico mais abrangente.
Nível teórico	Distancia-se do mundo cotidiano e formula sistemas idealizados, a partir dos quais constrói seus conceitos. A perspectiva teórica, neste novo estágio, deve ser claramente enunciada e proposta como motivo para os estudantes. Isso permite retornar às situações reais, e explicá-las a partir de um sistema teórico coerente, para refletir sobre as realizações do nível anterior e compreender suas limitações. O objetivo não é destruir os modelos anteriores de pensamento, mas refletir sobre eles visando assumir uma perspectiva mais crítica e flexível.

Considerando as dificuldades detectadas no entendimento do conceito de energia, vários autores (SCHLICHTING, 1979; DUIT, 1981; DUIT & HAUESSLER, 1994; BEN-ZVI, 1999) defendem, como Lijnse, abordagens evolutivas e gradualistas, em que as concepções dos estudantes sejam ponto de partida de progressos posteriores, evitando rupturas dramáticas, posto que os estudos indicam que elas, de fato, não acontecem. Segundo DUIT (1981), a descrição de processos variados que envolvem energia, à maneira de um combustível que realiza trabalho útil, provê uma descrição semântica inicial, que pode servir como âncora para conceituações futuras. Quanto à conservação da energia, o autor entende que deve ser ensinada e explorada passo a passo, a partir de pequenos exemplos, incluindo não apenas sistemas mecânicos idealizados mas ainda experimentos em que se observam mistura de líquidos a diferentes temperaturas e reações químicas.

DUIT & HAUESSLER (1994) sugerem que sejam desenvolvidos aspectos do conceito cotidiano de energia que encontrem correspondência com aspectos do conceito científico. Assim como outros autores (SCHLICHTING, 1979; BEN-ZVI, 1999) indicam que o conceito cotidiano de energia corresponde ao conceito científico de energia livre – quantidade máxima de energia de energia que pode ser obtida de um

sistema quando este interage com a vizinhança –, o que pode ser melhor conduzido pelo ensino, desde que os quatro aspectos do conceito – transformação, transferência, conservação e degradação – sejam desenvolvidos conjuntamente. Afirmam, ainda, que o modelo quase-material de energia pode ser útil no desenvolvimento da idéia de conservação, ausente no conceito cotidiano de energia. Concluem dizendo que, embora a abordagem por eles proposta seja largamente influenciada pelas questões de energia na vida social, os conceitos que se pretende desenvolver são aceitáveis do ponto de vista científico.

BEN-ZVI (1999) propõe um módulo didático em que desenvolve a idéia de conservação da energia associada à degradação. Para isso, parte da análise de situações e de sua representação por meio de diagramas, que indicam as transformações de energia e a “perda de qualidade” das quantidades correspondentes em realizar “trabalho útil”. A seguir, outras situações são apresentadas, com grau crescente de complexidade, em contextos que envolvem, também, conhecimentos químicos e biológicos, e solicita-se aos alunos procederem a uma análise semelhante à realizada anteriormente. Duas idéias centrais são destacadas nesse módulo didático: 1. a energia pode ser convertida de uma forma a outra mas, em cada transformação, uma parte dela é convertida em calor e, então, a capacidade de realizar trabalho diminui; 2. o trabalho é realizado quando um processo espontâneo é acoplado a outro processo não-espontâneo, o que causa sua ocorrência. Vários procedimentos de avaliação foram realizados, com resultados favoráveis no que se refere tanto ao aspecto conceitual quanto ao aspecto atitudinal, em relação à ciência e aos conteúdos científicos escolares.

A partir de análise dos conhecimentos prévios dos estudantes israelenses, em que constata uma grande adesão aos modelos antropomórfico, causal e produtivo, TRUMPER (1990, 1991) elabora duas seqüências didáticas destinadas a promover mudanças. Segundo o autor, tais concepções não seriam inaceitáveis ou contraditórias em relação à perspectiva científica, mas apenas limitadas e restritivas. As mudanças almejadas seriam, portanto, do tipo evolutivo. No primeiro estudo, o autor utiliza-se de estratégias de comparação de eventos, buscando criar um modelo mais generalizado a partir da perspectiva antropomórfica. No segundo, parte da idéia de energia como depósito ativo ou como produto de processos, para criar, por reestruturação dessa idéia, um novo esquema de maior generalidade, em que as transformações e transferências de energia são vistas como inerentes a toda e qualquer interação entre fenômenos.

KESIDOU & DUIT (1993) propõem uma abordagem em que a idéia de irreversibilidade dos processos desempenhe um papel central. Para isso, entretanto, consideram necessário rever a abordagem de conceitos básicos da física térmica. Sugerem maior ênfase na diferenciação entre calor e temperatura e nos processos que conduzem os sistemas espontaneamente ao equilíbrio térmico.

ARNOLD & MILLAR (1994) propõem que, na introdução aos conceitos da física térmica os conceitos de calor e temperatura sejam desenvolvidos e considerados simultaneamente, o que inclui ainda o conceito central de equilíbrio térmico⁸. Juntos, esses três elementos compõem uma “estória científica básica” que constitui objeto do ensino elementar. Os autores recomendam, ainda, considerar os seguintes aspectos: 1. ao se tratar de fluxos de calor, é fundamental reconhecer as fronteiras e levar em consideração todos os elementos que interagem com o sistema; 2. é necessário prover o conhecimento de uma organização numa teoria consistente, mediante o ensino explícito de estratégias metacognitivas; 3. o modelo científico (ou “estória”) deve ser apresentado explicitamente pelo ensino e ser por ele suportado, uma vez que não pode ser elaborado, indutivamente, a partir de evidências empíricas.

Em outro artigo, os autores (ARNOLD & MILLAR, 1996) examinam os resultados de um curso concebido a partir de tais pressupostos. A “estória da termodinâmica” é introduzida, no sentido de um modelo físico, estabelecendo a ontologia da área e suas inter-relações, o que elabora uma narrativa para o entendimento dos fenômenos térmicos. Esse modelo baseia-se na idéia de “fluxos de calor” e é apresentado aos estudantes a partir de um experimento e uma situação análoga – vasilha com água e fluxos de saída e de entrada; explorando e aplicando o modelo em outros contextos e situações. Esses autores discordam frontalmente das recomendações de SUMMERS (1983) e WARREN (1983), pois consideram que:

“As crianças precisam de amplas oportunidades de conversar e refletir sobre as experiências cotidianas e laboratoriais com fenômenos térmicos se esperamos que elas distingam as idéias de temperatura (uma propriedade intensiva) e de energia interna (uma quantidade extensiva). Ao fazê-lo, elas, inevitavelmente, usarão a palavra ‘calor’ em seu sentido cotidiano, que compreende tanto a noção de uma quantidade estocada quanto a de uma quantidade em trânsito” (ARNOLD & MILLAR, 1996, p. 252).

⁸ Tal recomendação diverge totalmente das observações de VAZQUEZ DIAZ (1987), para quem o conceito científico de calor exige como pré-requisitos o conceito de temperatura, em seus aspectos micro e macroscópico, e os de energia, suas formas e modos fundamentais de transferência. Como veremos, essa lógica de pré-requisitos é incompatível com os pressupostos do modelo de ensino que propomos neste trabalho.

Os resultados foram considerados satisfatórios⁹ pelos autores – em torno de 65% dos estudantes foram bem sucedidos nas tarefas propostas, o que variou bastante conforme a situação apresentada. Entre as dificuldades ainda presentes nas situações de pós-teste, os autores destacam: 1. permanência da dicotomia calor x frio; 2. calor, considerado como propriedade dos materiais; 3. confusão entre calor e temperatura; 4. raciocínio causal linear.

SCIARRETA et al. (1990) sugerem que se dê maior atenção ao processo que conduz ao equilíbrio em lugar de apenas focar estados de equilíbrio. Tendo em vista que as sensações ao tato são fortemente condicionadas pela constância da temperatura do corpo humano, recomendam maior atenção a essa característica e as interações ativas por meio das quais se adquirem informações sobre o estado térmico dos materiais.

DRIVER et al. (1994b) propõem iniciar a abordagem desse tópico do programa pelas mudanças resultantes do aquecimento dos materiais, diferenciando o processo de transferência de energia (*heating*) das mudanças que este acarreta – variações de temperatura, dilatação, mudanças de estado físico e reações químicas. Nesse primeiro tópico, destacam a questão de considerar tanto o aquecimento como o resfriamento como resultado de um único modelo mental de transferência de energia. A mudança mais abrangente envolve situar o aquecimento e o resfriamento no contexto de mudanças em geral, reconhecendo que todas elas constituem processos de transferência de energia. O objetivo é reconhecer uma grande gama de mudanças que resultam de processos de transferência de energia. Se a energia é transferida para, ou de, uma substância, ela vai, conseqüentemente, modificar sua temperatura, seu volume, seu estado físico ou transformá-la em uma diferente substância. A temperatura é o segundo tópico de conteúdo da proposta, destacando-se como propriedade intensiva, mediante inúmeras analogias e experimentos. O desafio consiste em distinguir o processo de transferência de energia e seus efeitos, o que envolve um refinamento do modelo causal adotado pelos estudantes. Outro tópico da proposta implica controle dos processos de transferência de energia.

MAK & YOUNG (1987) concordam com o diagnóstico de SUMMERS(1983), mas não consideram a solução satisfatória, porquanto as formas verbais correspondentes ao calor e suas variações são ambíguas. Assim, em inglês, a forma *heating*, na

⁹ Tratava-se de alunos pertencentes a grupos étnicos com dificuldade com a língua inglesa, o que torna os resultados favoráveis em relação ao desempenho escolar dos estudantes.

linguagem cotidiana, pode significar tanto o processo de transferência de energia quanto o aumento de temperatura. Entretanto, na termodinâmica, os fluxos de calor nem sempre acarretam variações de temperatura. Por outro lado, a expressão “fluxo de calor” seria, segundo os autores, menos problemática, porquanto o termo “fluxo”, no uso cotidiano, não diz respeito apenas a objetos tangíveis, mas aplica-se também a processos, do mesmo modo como a expressão “trabalho realizado”. Os autores argumentam ainda que, na escola básica, os conceitos devem ser reconhecidos pelos estudantes como úteis e significativos. Nesses níveis de ensino, demandas de precisão e elegância devem ser secundarizadas, o que os leva a não recomendar a apresentação de definições formais, como as formuladas por ZEMANSKY (1970). Avaliam que as dificuldades associadas à definição de calor no ensino elementar se devem à inexistência de um conceito operacional isento de contradições. Como solução para o impasse propõem: 1. ênfase na diferença entre estados, ou funções de estado, e processos, o que permitiria distinguir energia interna de calor e trabalho; 2. identificação dos sistemas em interação a partir da análise de situações concretas.

A propósito da conceituação de calor em cursos elementares de física e em oposição às sugestões de SUMMERS (1983) e WARREN (1972; 1982), MORENO et al. (1987) assinalam os seguintes pontos: 1. eliminar o uso do substantivo “calor” dos repertórios de ensino não resolve o problema, pois, dado seu amplo uso na linguagem comum, mesmo que isso seja feito no ensino, não há razões para crer que os alunos também o façam. O trabalho didático consiste em reinterpretar o significado das palavras e não, em propor seu desaparecimento artificial. 2. O perigo da substancialização do conceito de calor estará presente em qualquer esquema didático que se proponha. Resulta de um modo de pensar, que tem raízes profundas na linguagem e nos modos de pensar cotidianos. 3. É razoável a proposição de níveis de abordagem de conteúdos que apresentem um salto menos brusco entre as concepções de partida dos estudantes e as metas de aprendizagem.

No Brasil, as pesquisas de maior abrangência relacionadas à didática da física térmica foram desenvolvidas junto a estudantes do Ensino Médio e tiveram resultados bastante discrepantes. O trabalho de TEIXEIRA (1992) está centrado no desenvolvimento de explicações causais para os fenômenos térmicos e na diferenciação entre calor e temperatura. Para tanto, a autora recorreu a várias estratégias em ambientes construtivistas de ensino e aprendizagem, junto a quatro escolas das redes

pública e particular de São Paulo. Na análise de dados, ela elaborou categorias correspondentes a três níveis de entendimento: I. simples descrições dos fenômenos em termos de qualidades dos materiais, apoiadas nos observáveis e não em coordenações; II. causalidade solidária a mecanismos que envolvem observáveis ligados às coordenações – dividido em quatro subcategorias, desde a atribuição da oposição entre frio e quente até o modelo substancialista; III. causalidade solidária a coordenações que envolvem elementos não-observáveis – também dividido em quatro subcategorias, segundo a coerência com o modelo substancialista ou cinético e, ainda, conforme as lacunas nas explicações que elabora. Os resultados deste estudo não foram considerados satisfatórios, uma vez que, após algum tempo do ensino, prevaleciam as explicações alicerçadas no modelo substancialista do calor ou, também, que não levam em conta o processo, consistindo em simples descrições dos fenômenos em termos de qualidades dos materiais, sem estabelecer diferenciação entre calor e temperatura (TEIXEIRA & CARVALHO, 1998; TEIXEIRA, 1992).

SILVA (1995) realiza um estudo destinado a acompanhar trajetórias cognitivas dos estudantes ao longo do estudo de um tópico de calor e temperatura no Ensino Médio. Utiliza como abordagem a aplicação de questões abertas, solicitando aos estudantes a investigação dos aparelhos que produzem aquecimento e como eles funcionam. As discussões a propósito do funcionamento de um forno de microondas e as comparações com o aquecimento em forno convencional permitiram aos estudantes buscar informações e discutir os processos de transferência de calor. Esse contexto foi utilizado para a apresentação do modelo cinético molecular e a diferenciação entre calor e temperatura. O autor elaborou três categorias: I. não-uso explícito do modelo cinético-molecular e indiferenciação entre calor e temperatura; II. uso de elementos do modelo cinético-molecular e indiferenciação entre calor e temperatura; III. uso de elementos do modelo cinético-molecular e distinção entre calor e temperatura. Os resultados, ao final do curso, foram considerados favoráveis, com 32%, 41% e 27% dos estudantes, respectivamente, nas categorias I, II e III apresentadas acima. De modo surpreendente, o número de respostas favoráveis elevou-se quando nova entrevista foi realizada mais de dois anos após o término do curso (SILVA, FERNANDEZ NETO & CARVALHO, 1998).

Um dos aspectos que marcam a polêmica em torno da didática da física térmica no nível elementar consiste em caracterizar o papel dos modelos microscópicos no

desenvolvimento de seus conceitos básicos e fundadores. Alguns autores, com SILVA (1995), CARDENAS & LOZANO (1996) e VAZQUEZ DIAZ (1987), consideram que o modelo microscópico provê um fio condutor explícito e um modelo causal para o desenvolvimento da termodinâmica. A partir de um estudo exploratório, Cardenas e Lozano concluem que estudantes apresentam uma necessidade natural de encontrar mecanismos explicativos subjacentes de tipo batígeno ou profundo (HALBWACHS, 1977). Entretanto não há evidências empíricas que sustentem o otimismo de VAZQUEZ DIAZ (1987), quando este autor afirma que:

“o conceito de calor resulta muito natural uma vez que se conheçam os mecanismos microscópicos de transferência de energia em processos de interação térmica. Esses mecanismos admitem ser representados por um modelos causais e os modelos causais são mais fáceis de assimilar e mais satisfatórios para crianças e adolescentes.” (p. 236)

Ao contrário desses autores, MILLAR (1997) entende que as dificuldades conceituais enfrentadas pelos estudantes na introdução aos fenômenos térmicos afasta possibilidades de tratamentos conceituais mais refinados. Sugere, então, que o modelo substancialista do calor é mais apropriado a essa realidade e destaca várias de suas aquisições que podem ser efetivamente alcançadas pelo ensino. Entre elas, o autor enfatiza o entendimento das diferenças entre grandezas intensivas e extensivas – temperatura e calor –, o reconhecimento de que o calor se transfere espontaneamente de um corpo de maior temperatura para outro a temperatura mais baixa e a efetividade de materiais destinados a diminuir a taxa de fluxo de calor. O autor defende a relevância prática desse modelo, que, embora constitua uma simplificação da visão científica mais abrangente, é extremamente útil a engenheiros e biólogos.

Do mesmo modo, LINN & SONGER (1991) apresentam quatro versões consecutivas de um curso destinado a desenvolver conceitos básicos da física térmica, elaborados a partir de um “modelo pragmático” de fluxos de calor, que os autores consideram mais adequado às demandas cognitivas do currículo na escola básica. HALBWACHS (1978), num artigo em que exemplifica a necessidade de se adequar a estrutura dos conteúdos do ensino às demandas e necessidades do desenvolvimento conceitual dos estudantes, defende a aquisição de estruturas de conservação a partir de modelo substancialista do calor:

*“Ressuscito o calórico, porque a experiência mostra que as crianças possuem essa idéia de uma substância, e ela pode lhes ser muito útil, ela pode lhes servir de suporte para a idéia da conservação - idéia que, sem isso, somos obrigados a expor como um princípio ou um postulado, porque não devemos nos esquecer de que é essa conservação que **constitui** a noção de quantidade de calor, tanto no plano epistemológico quanto no plano psicológico, já que a própria medida da quantidade de calor, a definição de caloria, a comparação de calores específicos, etc., tudo repousa sobre **uma afirmação a priori da conservação**. Conservação que é impossível de se verificar pela experiência já que não se sabe, ainda, medir as quantidades de calor. Logo essa substancialização é uma intuição muito forte que conduz a criança de maneira eficaz à formação da noção de calor e a sua quantificação” (HALBWACHS, 1978, p.35, grifos do autor).*

Podemos concluir dizendo que são diversas e imprevisíveis as demandas cognitivas dos estudantes. Não é possível, previamente, garantir que tal ou qual modelo causal – substancialista ou mecanicista, macro ou microscópico – irá satisfazer suas necessidades de conferir explicações aos fenômenos. Parece-nos, entretanto, razoáveis as considerações a propósito da utilidade pragmática dos modelos que, como tais, não são, em si mesmos, falsos ou verdadeiros. Os modelos físicos são adequados a um certo domínio de fenômenos enquanto possibilitam condições de explicar e prever as transformações reais a partir de transformações operatórias realizadas com base em seus pressupostos. Nesse sentido, seria tão conveniente tratar dos modelos do calor como substância imponderável, quanto lidar com modelos ondulatórios para a luz. Os primeiros restringem-se a fenômenos em que não há realização de trabalho; os segundos, aos fenômenos de propagação da luz.

Do mesmo modo, os princípios construtivistas que orientam este trabalho estão de pleno acordo com a necessidade de estabelecimento de níveis de abordagem dos conceitos e sua consideração a partir do ponto de partida dos estudantes. Assim, parece-nos exemplar a pesquisa de Van Ron e colaboradores, em que se destacam quatro níveis de desenvolvimento do conceito de calor no *“caminho didático em direção à termodinâmica”*. Os autores constatam que estudantes universitários adotavam majoritariamente o terceiro modelo, energético, para o calor, o que os leva a propor uma estruturação de curso com base nesse contexto, definindo uma seqüência de atividades e situações escolhidas em função do contraste entre os esquemas conceituais dos estudantes e as metas de aprendizagem. Na mesma perspectiva, pensamos que os objetivos-obstáculos (ASTOLFI & DEVELAY, 1991; ASTOLFI & PETERFALVI,

1993, MARTINAND, 1995) relativos ao tratamento da física térmica na escola secundária devem apontar para a passagem do primeiro ao segundo nível de desenvolvimento proposto pelos autores, ou seja, de uma concepção pré-científica para uma concepção substancialista de calor.

Capítulo 2 - Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Fundamentação Teórica

Neste capítulo, iremos apresentar e desenvolver os fundamentos do modelo de ensino para mudanças cognitivas. Os problemas que esse modelo se propõe examinar são decorrentes da prática docente e das questões colocadas pelo ensino e pela aprendizagem escolar no campo das ciências naturais. Entretanto seus fundamentos não se encontram em teorias da educação, pois decorrem de reflexões acerca do conhecimento e da aprendizagem. Nesse sentido, convém examinar as relações entre pedagogia, epistemologia e psicologia no âmbito desta pesquisa.

A pedagogia envolve, certamente, mais do que uma mera aplicação de princípios decorrentes de outros campos do saber, embora se alimente deles para suas reflexões e ações concretas no âmbito dos processos educativos. Uma teoria pedagógica deve conter um projeto para a formação humana, uma concepção de homem, de sociedade e de educação, o que envolve dimensões culturais, éticas e políticas. Tais dimensões não constituem objeto deste trabalho, ainda que sejam sempre consideradas, de modo mais ou menos explícito, nas proposições desenvolvidas.

No âmbito mais restrito da didática em ciências, entendida como parte de um projeto educacional mais abrangente, também se encontram aspectos que vão além dos limites das teorias do conhecimento e da aprendizagem. Compete à didática a organização de ambientes de ensino e aprendizagem, o que é feito no interior de instituições historicamente constituídas. Assim sendo, não se pode esperar que o construtivismo se converta numa teoria geral da educação nem, tampouco, deduzir, diretamente de seus princípios, modos específicos para a ação docente. Isso não significa, no entanto, que se possa considerar satisfatória a discrepância atualmente existente entre os modos como se organiza e concebe o ensino e os processos que governam a aprendizagem humana. Da constatação de que é impossível prescrever ações didáticas a partir de princípios de aprendizagem para a conclusão de que se pode situar ensino e aprendizagem enquanto instâncias disjuntas e independentes, há uma enorme distância e um erro irreparável¹. A nosso ver, é uma obrigação do ensino

¹ O polêmico artigo de MILLAR(1989) dá esse passo em falso, ao afirmar que “*poderia ser mais produtivo modelar a compreensão como uma coleção discreta de ‘fragmentos de saber’ em lugar de uma ‘estrutura’ de idéias e proposições*” (p. 587). Para ele, qualquer das variantes epistemológicas (relativismo, falseacionismo crítico ou positivismo lógico) pode sustentar, de modo produtivo, o ensino e a aprendizagem em ciências.

considerar as dimensões epistemológicas, relativas às reflexões sobre conteúdos a serem desenvolvidos e as dimensões psicológicas, relacionadas aos processos de aprendizagem que se pretende promover e sustentar.

Ao apresentar e justificar um determinado modelo de ensino pretendemos situar sempre o campo das questões educativas envolvidas, para não sucumbir aos reducionismos que tão freqüentemente rondam os estudos em psicologia cognitiva “aplicada” à educação (COLL, 1998). Por outro lado, ao investigar seus limites e possibilidades, esperamos contribuir para que essas demarcações sejam consideradas e assim examinar aspectos ligados ao desenvolvimento profissional docente. A abordagem construtivista que defendemos pretende utilizar a teoria genética como instrumento de análise de problemas educacionais. Para isso, propomos uma inversão dos procedimentos de ensino cristalizados na prática escolar, sem ignorar a natureza e as funções da educação escolar, bem como os contextos específicos em que se efetuam as interações alunos/professor/objetos de conhecimento (LERNER, 1995).

Embora esteja sujeita às mesmas leis gerais que regulam o entendimento humano, a aprendizagem escolar não se constitui em mero prolongamento das atividades espontâneas realizadas pelo sujeito em seu ambiente social. O contexto escolar encerra características próprias: existe uma intencionalidade – deseja-se ensinar algo a alguém –, estando o aprendiz sujeito a pressões sociais – ao final de um prazo estabelecido, espera-se que ele esteja de posse de certas habilidades e conhecimentos, existindo, portanto, uma direção, uma expectativa e um acompanhamento do processo ensino-aprendizagem – no interior de uma instituição que funciona de acordo com determinadas regras e padrões de comunicação, mesmo que quase sempre implícitos, por intermédio de agentes que cumprem papéis diferenciados, em relações notoriamente assimétricas.

Procuramos, ainda, discernir aspectos derivados da epistemologia e da psicologia genética, tomados como fundamentos para a construção do modelo. Ao fazê-lo, acreditamos estar contribuindo para uma compreensão mais exata de seus pressupostos. Do ponto de vista clássico, a epistemologia e a psicologia são consideradas como dois campos absolutamente distintos e cindidos. Enquanto a epistemologia busca justificar e validar racionalmente os conhecimentos científicos, a psicologia se ocupa em descrever e acompanhar os fatos decorrentes do comportamento humano. Nessa perspectiva, à natureza filosófica e normativa dos argumentos

epistemológicos, opõe-se a tradição experimental e factual da psicologia. Enquanto a epistemologia ocupa-se das tradições das comunidades científicas, a psicologia acompanha o comportamento de indivíduos particulares sob a ação do meio.

Piaget modifica radicalmente esse cenário. Para ele, as questões epistemológicas deslocam-se da justificativa de conhecimentos já elaborados para os mecanismos e processos que tornam tais conhecimentos possíveis, de modo a explicar a possibilidade de o homem construir as ciências e as matemáticas. Ao examinar empiricamente suas hipóteses sobre as origens e evolução do conhecimento, Piaget recorre à psicologia genética como método de investigação, dada a insuficiência de dados históricos sobre os primórdios do conhecimento humano. Essa inversão radical de procedimentos justifica-se pela crença, recorrentemente examinada por Piaget, de que os mecanismos funcionais de construção do saber são os mesmos, desde as ciências mais eruditas e abstratas às noções elementares das crianças. Ao fazê-lo, ele rompe a distinção clássica entre *conhecimentos*, que devem ser avaliados a partir de critérios racionais, e *crenças*, que não guardam compromissos com a verdade e a racionalidade.

Ao longo deste capítulo, apresentamos os fundamentos de um modelo de ensino para mudanças cognitivas. Esse modelo é constituído, basicamente, por três elementos. Em primeiro lugar, assenta-se sobre alguns princípios gerais do construtivismo, como teoria do conhecimento, destacando aqueles que geram conseqüências práticas para a ação pedagógica. Em segundo lugar, a partir desses referenciais teóricos de partida, formula instrumentos auxiliares para a análise, a gestão e a organização de conteúdos do ensino. Finalmente, de modo compatível com os elementos anteriores, permite acompanhar os efeitos do ensino na aprendizagem dos estudantes, identificando o quanto progrediram em relação às formas iniciais de compreensão.

2.1. Princípios para uma pedagogia construtivista

O modelo de ensino em questão tem por objetivo gerar instrumentos de análise para a organização e a avaliação do ensino compatíveis com as teorias do conhecimento e da aprendizagem a que se denominam, genericamente, construtivistas. Apesar do amplo consenso em relação a alguns pontos essenciais, construtivismo é um termo bastante vago e genérico, comportando um amplo leque de referenciais teóricos e orientações divergentes para a prática pedagógica. Nesse sentido, ao examinar seus fundamentos, iremos apresentar alguns princípios básicos, idéias centrais, que podem

dar sustentação a uma visão construtivista dos processos de ensino e aprendizagem em ambiente escolar.

Antes de prosseguir, devemos assumir nossa posição em relação às contraposições entre abordagem cognitivo-construtivistas e socioculturais no campo educacional². A nosso ver, tais abordagens originaram-se de problemáticas distintas, o que permitiu a cada uma delas esclarecer dimensões diversas dos processos de aprendizagem escolar, sem, entretanto, constituir uma explicação completa dos mesmos. As abordagens cognitivas não oferecem modelos capazes de explicar a produção e a reprodução das práticas sociais, bem como sua perpetuação pela cultura; por outro lado, as abordagens socioculturais não explicam o surgimento de novidades na passagem do plano interpsicológico ao plano intrapsicológico. Além de não serem incompatíveis, essas abordagens são, a nosso ver, complementares. Segundo COBB (1998), cada uma dessas perspectivas serve para contar a metade de uma boa história e cada qual pode ser usada para complementar a outra. As análises socioculturais não envolvem comprometimentos cognitivos implícitos e as dimensões culturais, embora não sejam ignoradas nas abordagens construtivistas, não são por elas suficientemente desenvolvidas. O autor conclui:

“Em lugar de tentativas para atrelar a pesquisa a um único esquema teórico abrangente, postulado a priori, poderíamos documentar nossas tentativas de coordenar perspectivas à medida em que tentamos enfrentar nossos problemas específicos. Estaríamos reconhecendo que nós, professores, buscamos à nossa volta os meios de extrair significados das coisas à medida em que abordamos os problemas contidos na nossa prática” (COBB, 1998, p.65)

Partindo do pressuposto de que as diferenças não devem ser ocultadas, mas ressignificadas ao serem situadas suas problemáticas (CASTORINA 1995; 1998), devemos explicitar as opções feitas nos referenciais que dão sustentação ao modelo de ensino que propomos. A questão central desse modelo consiste em analisar os níveis de abordagem dos conteúdos escolares, para o que não poderíamos prescindir das contribuições da teoria genética, que serve como um importante referencial teórico. Por outro lado, ao examinar os modos como o ensino introduz novidades e ao destacar os processos de interação em sala de aula recorreremos a pesquisas de filiação vygotskiana.

² Devemos ressaltar que esse não é um debate meramente acadêmico, pois a tensão entre o caráter construtivo dos sujeitos da aprendizagem e a necessidade de sua inclusão em práticas culturais mais abrangentes é um dilema sempre presente em todos os momentos das práticas docentes.

Podemos, então, explicitar os elementos que, a nosso ver constituem os aspectos centrais das abordagens construtivistas e sócio-interacionistas para a educação em ciências. A partir de uma leitura da obra de Piaget e de Vygotsky, de apreciações semelhantes feitas por COLL (1997)³ e de trabalhos anteriores (FILOCRE & AGUIAR, 1996; FILOCRE, 1999), acreditamos poder resumir esses princípios em cinco pontos fundamentais.

O primeiro princípio construtivista afirma que o ato de conhecer consiste em fornecer uma *interpretação* à realidade, o que é feito pelo sujeito por meio de seus esquemas de assimilação. Assim sendo, não existe uma leitura direta da experiência e o que o estudante pode compreender de uma dada lição depende dos esquemas que utiliza para assimilar o ensino. As características do mundo externo, e ainda os observáveis ligados às ações humanas, são percebidos apenas por meio de esquemas. Por sua vez, os esquemas de assimilação não constituem unidades isoladas da cognição, mas organizam-se de um dado modo, compondo *estruturas*⁴, isto é, sistemas de significação que o sujeito utiliza ao interpretar o mundo à sua volta. A condição para aprender depende dos esquemas e estruturas que o sujeito dispõe para interpretar uma dada experiência ou informação e de como as modifica no curso da atividade que realiza.

Isso coloca o sujeito da aprendizagem como protagonista central dos processos educativos. Constituindo uma interpretação, o ato de conhecer não prescinde do esforço pessoal de quem o realiza. Podemos ir além e dizer, com MATURANA (1998), que “*seres vivos somos sistemas determinados por nossa estrutura. Nada externo a nós pode especificar o que nos acontece. Cada vez que há um encontro, o que nos ocorre depende de nós*”⁵ (p. 64, grifos do autor). Tais considerações sugerem uma maior atenção aos esquemas que devem ser ativados pelos estudantes em situações de

³ Cesar Coll, no artigo citado, aponta três princípios decorrentes da obra de Piaget, que considera relevantes, mas insuficientes, para o entendimento dos processos de aprendizagem escolar. As razões da insuficiência, das quais discordamos, decorrem: 1. do caráter dos esquemas de conhecimento escolar em contraposição aos esquemas operatórios e às noções investigadas por Piaget; 2. da natureza espontânea dos processos de equilíbrio majorante, que não teriam lugar nas aprendizagens escolares; 3. do caráter supostamente solitário do sujeito do conhecimento em Piaget.

⁴ Em Piaget, as estruturas são caracterizadas por três propriedades fundamentais: a totalidade, a transformação e a auto-regulação (PIAGET, 1979; AGUIAR JR., 1995, p.72-74).

⁵ A expressão “determinados por” oferece uma falsa visão reducionista e inatista que não corresponde ao pensamento do autor. Por outro lado, o termo “estrutura” tem, para Maturana, um sentido diferente daquele empregado por Piaget: para o biólogo chileno, estruturas envolvem um conjunto de predisposições corporais e emoções, circunstanciadas por interações particulares: “*O resultado de tal processo é um dever de mudanças estruturais contingente com a seqüência de interações do organismo[....] porque o presente do organismo surge em cada instante como uma transformação do presente do organismo nesse instante.*” (MATURANA, 1998, p.28-29).

aprendizagem escolar, ou seja, um deslocamento de uma ênfase, antes, exclusivamente centrada nos métodos do bom ensinar para os processos do aprender (FILOCRE, 1999). Conduz ainda, ao reconhecimento do aluno como um *legítimo outro*, ou seja, como sujeito cuja história de interações anteriores leva a uma singularidade e modos próprios de interpretar e envolver-se com o que lhe está sendo proposto.

O segundo princípio consiste em afirmar que a atividade mental é constitutiva do ato de conhecer, e é desencadeada pelas interações do sujeito com seu meio físico, cultural e sócio-histórico. 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 pressupõe um processo de mudança produzida pelo duplo jogo da assimilação e da acomodação. O princípio da atividade mental construtiva diz respeito não apenas ao caráter individual (diríamos pessoal) do processo cognitivo, como também à natureza essencialmente interna desse processo. As mudanças não decorrem nunca de uma simples leitura da realidade, nem tampouco de situações potencialmente perturbadoras em si mesmas, mas são “*resultado de um complexo e intrincado processo de modificação e reorganização dos próprios esquemas*”(COLL, 1997, p.154). Nesse sentido, cabe ao educador organizar e conduzir situações de ensino que favoreçam a atividade mental construtiva dos estudantes, propiciando-lhes ricas e variadas oportunidades, para que considerem novas perspectivas e informações, de modo que se estabeleçam novas interpretações, tomadas como objeto de reflexão junto a seus colegas e professores.

O terceiro grande princípio é o da equilibração, que constitui o fator explicativo, por excelência, das formas de equilíbrio majorantes que se sucedem, sem cessar, ao longo da vida do sujeito (PIAGET, 1976). Esse princípio constitui uma forma adaptativa, que procura maximizar as interações organismo/meio através da construção de novos instrumentos de compreensão e ação sobre a realidade, sempre que isso se mostrar necessário ao sujeito. O processo de construção é, assim, um processo de reestruturação no qual todo conhecimento novo é gerado a partir de outros, prévios. O novo constrói-se, sempre, a partir do já adquirido e transcende-o. Assim, o conhecimento não procede por simples acréscimos de fatos ou relações mas por reorganizações sucessivas e majorantes. A majoração de uma estrutura em relação às precedentes decorre de sua maior estabilidade, ou seja, de sua capacidade de incorporar novos elementos, sem que isso interfira nas relações já estabelecidas a ponto de

comprometê-la. As investigações conduzidas pela Escola de Genebra permitiram destacar que os níveis de formação de conhecimento – quer se trate de conhecimentos causais, quer de conhecimentos lógico-matemáticos – são sucessivos e seqüenciais. Assim, cada nível de conhecimento é resultado das possibilidades abertas pelas etapas precedentes, ao mesmo tempo que prepara a formação dos níveis que lhe sucedem.

Por seqüenciais, entende-se uma progressão de conhecimentos aos quais é possível estabelecer uma hierarquia em termos das possibilidades de compreensão que engendra, decorrentes, em última instância, da complexidade de suas estruturas. Entretanto convém destacar que, no caso dos conhecimentos causais, não se pode falar de uma seqüência necessária de etapas, tais como aquelas postuladas por Piaget em relação às estruturas operatórias, já que as teorias físicas se submetem a uma busca constante de correspondências com o plano da experiência. As diferenças entre a sucessão de teorias físicas e a filiação das estruturas matemáticas é destacada por PIAGET & GARCIA (1984):

“Estas características das teorias físicas ([isto é: i) sua capacidade de vincular valores de funções não teóricas que pertencem a diferentes ‘domínios de aplicação’; ii) o retorno ao plano da experiência e a modificação dos conceitos de base) mostram que não se trata de uma sucessão de estruturas compreendidas umas dentro de outras.” (p. 191)

O princípio da equilibração majorante orienta o ensino a levar o estudante aos limites de seus modelos, a gerar perturbações e a introduzir novidades. Ao conceber o conhecimento como processo, mediante estados sucessivos de equilíbrio sempre provisórios e relativos, conduz a uma organização dos conteúdos do ensino que considera a abordagem em diferentes níveis de complexidade, bem como sugere uma qualificação dos instrumentos de avaliação da aprendizagem. No plano epistemológico, situa as abordagens didáticas para além das contraposições entre o dogmatismo “científicocêntrico” (SARAIVA, 1991) e o relativismo radical.

O quarto princípio consiste em afirmar que a interação do sujeito com os objetos do conhecimento é mediada pela linguagem, pela cultura e pela relação com outros membros dessa cultura. Assim, “o aprendizado humano pressupõe uma natureza social específica e um processo através do qual as criança penetram na vida intelectual daqueles que as cercam” (VYGOTSKY, 1991, p. 99). É a partir das trocas sociais que a racionalidade se desenvolve (PIAGET, 1973). Poder-se-ia acrescentar, com MATURANA (1998), que as interações humanas são essencialmente relações afetivas

e, assim, por intermédio do outro, se pode potencializar ou, ao contrário, obstruir o desejo de conhecer. Isso é particularmente importante no que se refere à aprendizagem escolar, que pressupõe desafios, que transcendem a construção espontânea de conhecimentos nas interações da criança em seus contextos familiares. Com Fosnot, pode-se afirmar que *“diálogo dentro de uma comunidade engendra mais pensamento. A sala de aula precisa ser vista como uma comunidade discursiva engajada em atividade, reflexão e conversação.”* (FOSNOT, 1998, p.46). Certamente, a sedução e os afetos constituem elementos centrais dessa concepção dialógica de educação.

Este princípio configura desafios à prática docente no sentido de conceber e desenvolver formas de mediação que permitam otimizar a interação dos estudantes com os objetos culturais que são as teorias e os conceitos científicos. Evoca, ainda, a solidariedade entre processos individuais e sociais na construção do conhecimento: de um lado, o conhecimento é resultado de um esforço pessoal e insubstituível de estruturação progressiva do real; de outro, trata-se de uma construção mediada, apoiada e suportada pelas interações com os outros, em função dos objetos que fazem parte da herança cultural da humanidade e que são continuamente transformados a cada nova interpretação. Nesse sentido, a educação científica deve estar comprometida com a introdução do jovem nas novas esferas de produção cultural da ciência e da tecnologia, a fim de permitir uma reflexão sobre os impactos das atividades a elas relacionadas na vida contemporânea. A educação em ciências pretende, desse modo, tornar pessoais os significados culturais desenvolvidos pelas comunidades científicas ao longo da história humana, de maneira que a ciência, como atividade especializada, possa ser apreciada, criticada e compreendida por todos.

Finalmente, pode-se enunciar um quinto princípio, que se refere aos contextos de produção e utilização dos conhecimentos. Por mais que o conhecimento proceda por estruturas com poderes e instrumentos de assimilação cada vez mais sofisticados, as circunstâncias da vida social fazem com que os sujeitos lancem mão de formas diferenciadas de entendimento em sua relação com o mundo em seus múltiplos contextos de interação. Assim, pode-se afirmar que o sujeito da aprendizagem não é o sujeito epistêmico, tão caro à investigação piagetiana sobre a natureza dos processos de construção da racionalidade. A constatação desse princípio, evocada por vários pesquisadores em ensino de ciências (LINDER, 1993; SOLOMON, 1983a) a nosso ver não prescinde de um olhar para o problema da mudança cognitiva enquanto objetivo das

práticas pedagógicas, mas coloca na ordem do dia o problema da tomada de consciência, por parte do aprendiz, dos elementos que compõem seu “perfil conceitual” (MORTIMER, 1994; 1995).

O fato de serem estruturados não significa que os conhecimentos prévios dos estudantes sejam tomados como entidades estáveis, “possuídas” pelo sujeito. Segundo OLIVEIRA, *“a organização conceitual, muito mais do que uma teoria completa e estável, parece ser um conjunto flexível de significados, abertos a uma reestruturação constante com base em situações interpessoais que promovem a reflexão”* (1999, p. 62). De modo semelhante, CLANCEY (1995) critica posições em psicologia cognitiva que consideram os modelos mentais como programas armazenados, prontos a serem executados, assim como em um computador. Em lugar disso, propõe que a criação de modelos envolve ação comunicativa, processo inerentemente social e dinâmico.

Tais posições parecem contrapor-se às formulações piagetianas, sobretudo àquelas relativas à descrição estrutural de estágios do pensamento da criança. Entretanto, em seus últimos trabalhos, Piaget destaca a proximidade de suas proposições às relacionadas às *“estruturas dissipativas”* de Prigogine. Assim como estas, os processos de equilíbrio: 1. referem-se a equilíbrios dinâmicos, comportando trocas com o exterior; 2. são trocas que, por suas regulações, estabelecem as estruturas; 3. caracterizam-se por uma *“auto-organização”*; 4. não permitem que, na seqüência das instabilidades, os estados, num dado instante, possam ser compreendidos senão a partir de sua história no passado; 5. levam a crer que a estabilidade de um sistema é função de sua complexidade (PIAGET & GARCIA, 1984, p. 252).

Assim sendo, os estados de conhecimento que serão utilizados ao longo deste trabalho servem como quadro de referência para a análise das mudanças que acompanham a aprendizagem em ciências. A sucessão de estados satisfaz exigências de racionalidade e aumentam a compreensão do que se passa. Entretanto, deve-se destacar que essas categorias analíticas funcionam como fotografias sucessivas de um quadro sempre dinâmico e em transformação. Dessa maneira, as concepções dos estudantes não são consideradas como representações estáticas de conteúdo mental previamente disponível, mas enquanto conjunto flexível de significados em processo de elaboração no curso das interações. Ao lado desse conjunto, é necessário postular, ainda, a presença de certas crenças e pressupostos de sentido comum, bastante consolidados e dificilmente submetidos à análise racional, o que explica o caráter estável das representações dos

estudantes acerca do mundo físico (NEIDDERER & SCHECKER, 1992; VOSNIADOU, 1994).

Uma vez caracterizados os princípios construtivistas acerca do conhecimento e da aprendizagem escolar, o modelo em discussão pretende configurar modos de organizar e operacionalizar o planejamento didático de uma maneira que lhes seja compatível.

O procedimento tradicionalmente consagrado pela perspectiva condutivista – que ainda orienta boa parte das formas de conceber o processo de ensino e de aprendizagem em ciências – consiste na máxima de “partir do mais simples para gradualmente ascender ao mais complexo”. Estamos de acordo com esse princípio de senso comum conquanto se esclareça o que se entende por “simples” e por “complexo”. Segundo essas abordagens, o critério de organização dos conteúdos é estabelecido pela lógica da disciplina, ou seja, pelo estatuto de maior ou menor generalidade dos conceitos, de forma a identificar as noções básicas ou elementares de cada domínio do saber. Assim, concebe-se o ensino de química a partir da noção “elementar” do átomo, o ensino da biologia a partir do estudo das células, o ensino da eletricidade a partir da noção básica de cargas pontuais, o ensino da mecânica a partir do movimento na ausência de forças e assim por diante.

Em termos de lógica disciplinar, partir do mais simples para o mais complexo resulta num paradoxo, na medida em que os conceitos fundamentais da ciência foram forjados com base num complexo processo de simplificação e idealização solidário à construção de um corpo teórico consistente. Assim, o movimento inercial – retilíneo e uniforme – é simples apenas para aqueles que já se encontram de posse de uma teoria que assim os concebe. Em ciências, o simples é o real depurado, transformado, simplificado e organizado (HOUSSEME, KAWAMURA & MENEZES, 1994). Mesmo se assim não fosse, a apresentação gradual e axiomática de conceitos resulta numa atividade enfadonha e sem qualquer significado para os estudantes.

Entretanto, pode-se inverter a lógica que concebe o planejamento didático quando se passa a considerar o “simples” e o “complexo” não mais em função de noções existentes numa teoria já constituída, mas a partir das relações e de seu manejo pela inteligência, que busca aproximar-se dessa teoria. HALBWACHS (1984), a esse respeito, afirma que

“Se nos situamos na perspectiva do funcionamento da inteligência do sujeito, veremos imediatamente, a partir das pesquisas em psicologia, que existe uma hierarquia (e uma sucessão temporal na história do desenvolvimento), de tal maneira que algumas entre elas são manejadas mais precocemente e mais facilmente do que outras. Essa hierarquia de relações que faz referência ao sujeito pensante é totalmente diferente que a hierarquia das noções (simples ou compostas) que se refere ao objeto em si” (p.158).

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 considerar o conhecimento como processo, enquanto verdade provisória. 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 numa dada direção.

O essencial nessa abordagem é a idéia de que conhecemos e estruturamos o real em seus movimentos, em suas provisoriedades. 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.

2.2. Análise Epistemológica dos conteúdos do Ensino

O modelo de ensino que examinamos recorre à epistemologia genética para extrair dela elementos que auxiliem o professor na identificação desses níveis de estruturação e, assim, orientar suas escolhas didáticas. O projeto central da epistemologia genética foi, justamente, o de identificar leis gerais que permitam compreender o porquê dessa sucessão nas formas de conhecimento e dos mecanismos que as engendram. Numa grande síntese desse projeto, PIAGET & 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 lhe sucedem.

No caso particular dos conhecimentos causais, tais fases correspondem a uma primeira, a etapa intra-objetal, de análise das propriedades e características dos objetos; seguida por uma segunda 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, isto 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. Ao descrever a sucessão de teorias físicas, dizem os autores:

“O mais característico deste processo é que, em cada nível se retorna ao ‘plano da experiência’ com novos esquemas interpretativos que enriquecem as idéias iniciais com as que se construiu esse nível. Esse ‘enriquecimento’ não consiste somente no descobrimento de novas propriedades dos objetos ou de novas relações entre eles. Com muita frequência, é o próprio objeto que é modificado e esta modificação tem um sentido muito preciso: trata-se de novas propriedades ou relações que o objeto adquire, como do fato ainda mais significativo de que certas propriedades atribuídas inicialmente ao objeto não podem mais serem aceitas sem conduzir a contradições dentro do sistema interpretativo. Se trata de propriedades que somos obrigados a abandonar para conservar as estruturas que fazem inteligível o resto da experiência.” (PIAGET & GARCIA, 1984, p. 191)

O primeiro nível, intra-objetal, refere-se ao estatuto de qualidades e atributos conferidos aos objetos do conhecimento, com relações precárias ou insuficientes entre si. Este primeiro nível é característico das primeiras abordagens de um novo domínio. Na psicologia genética, o nível intra é facilmente identificado com as representações infantis no estágio pré-operatório. Assim, por exemplo, a sombra pertence ao objeto e não tem qualquer relação com a luz que a projeta – quando estamos sob uma árvore e perguntamos à criança o que foi feito de nossa sombra, obtemos a surpreendente resposta de que está escondida na sombra da árvore. Os problemas são resolvidos por justaposição de qualidades por meio das quais se procura explicar os fenômenos: um objeto pode bater forte porque é pesado, ou parar pelo mesmo motivo, andar lentamente porque é grande, ou seguir rapidamente porque tem muitas rodas, e assim por diante.

Conferir um estatuto intra a determinado nível de elaboração de conhecimentos não implica, porém, fazer qualquer juízo sobre as competências operatórias do sujeito⁶. Todos nós, adultos escolarizados, temos essa reação cognitiva quando nos deparamos com objetos de conhecimento com os quais temos pouca, ou nenhuma, experiência. Nesse caso, procuramos estabelecer qualidades, observáveis, que permitam conferir sentido à experiência. E, na medida em que procuramos destacar cada uma delas, procedemos a uma leitura parcial da realidade a ser compreendida, pela ausência, ou insuficiência, de relações e transformações que o modelo, ainda incipiente, permite estabelecer. Devemos ainda lembrar que, de todas as reações cognitivas, essa é a mais primitiva e, portanto, aquela que demanda menor esforço e concentração por parte de quem a formula. Assim, em várias circunstâncias da vida social – inclusive em algumas situações escolares – procedemos assim porque a situação não parece suficientemente encorajadora, desafiadora ou, mesmo, interessante.

O mais importante, entretanto, é que este primeiro nível de elaboração não é primitivo apenas no sentido de frágil e sujeito a modificações, mas ainda no sentido de prover instrumentos básicos de leitura da situação problema, de configurar um primeiro e necessário nível de compreensão dos fenômenos. A atividade de acender uma lâmpada de lanterna através de um fio e uma pilha, por exemplo, permite ao sujeito destacar certas qualidades daquilo que se denomina circuito elétrico. Mesmo que se suponha incorretamente que, na lâmpada, a eletricidade se transforma em luz, nesse primeiro nível, promove-se o entendimento geral de que algo “passa” pelo circuito, além de definir a necessidade de um caminho fechado que vá de um pólo a outro da pilha, passando pelo filamento da lâmpada.

O segundo nível de entendimento, denominado inter-objetal apóia-se nas construções anteriores, uma vez que, a partir das leituras elementares dos observáveis, o sujeito passa a coordená-los entre si. Os elementos essenciais, nesta fase, são as relações e transformações engendradas com base na multiplicação dos esquemas identificados no nível anterior, o que pode se converter em fonte de contradições. No esforço de superar essas contradições, o sujeito passa a trabalhar com relações entre variáveis e não apenas

⁶ Por outro lado, é preciso destacar que as competências operatórias limitam, no curso da psicogênese, as possibilidades de compreensão da criança em determinado momento de seu desenvolvimento. Elas funcionam como fator restritivo mas não determinante das produções infantis.

com a leitura da realidade a partir de cada uma delas isoladamente. Um bom exemplo desse tipo de procedimento verifica-se quando a criança deixa de ater-se apenas nas qualidades dos objetos para prever sua flutuação ou não na água – grande/pequeno, pesado/leve, fino/grosso, comprido/curto, etc. – e passa a estabelecer relações – peso do objeto X peso da água ou ainda peso do objeto X peso de mesmo volume de água. Observa-se também, nesse mesmo exemplo, que, ao estabelecer relações, o sujeito se vê obrigado a rever e reorganizar as propriedades e atributos que ditavam sua compreensão anterior do sistema. Outra característica da fase inter, em relação à precedente, consiste na ênfase às transformações em detrimento da atenção antes dirigida aos estados. Enquanto, no nível anterior, o sujeito se atém às características que permitem explicar o “modo de ser” dos fenômenos, nesse segundo nível volta-se às relações entre estados inicial e final e aos modos como, partindo-se de um estado, se chega ao outro. Devemos lembrar, por outro lado, que a compreensão das transformações envolve a reversibilidade operatória e a atribuição de conservações que permitam ligar, mentalmente, um estado a outro. Um dos principais mecanismos evocado pelos autores para explicar a passagem da lógica de atributos – intra – à lógica das relações – inter – consiste na inversão das relações entre o possível, o real e o necessário:

“Como o real consiste, no ponto de partida, em observáveis diretamente obtidos pela percepção, cada um crê conhecê-los e, posto que se repetem com certa generalidade, são concebidos como necessários e únicos possíveis em seu domínio. Para ter necessidade de verificar que são realmente tal como nos parecem, a condição prévia é, pois, ‘ultrapassar’ o real e imaginar outros possíveis, e por conseguinte, inventar problemas onde parecia não haver algum.” (PIAGET & GARCIA, 1984, p. 86)

Finalmente, no terceiro elemento da tríade, trans-objetal, o sujeito submete as relações e transformações colaterais do nível precedente a uma estrutura de totalidade, que as engloba e justifica. Esse nível comporta não apenas uma maior generalidade – aumento por extensão – mas uma compreensão mais articulada, na medida em que o modelo teórico permite, além de simplesmente constatar, prever e demonstrar regularidades. Nesse sentido, atingir o nível trans implica passar do domínio da legalidade para o da causalidade (PIAGET & GARCIA, 1973). As teorias científicas são constituídas tanto pelos conceitos com que representam o mundo quanto pelo modo particular pelo qual concebem as relações desses conceitos entre si e com a estrutura teórica que lhes confere unidade e coerência. Nessas circunstâncias, o real é inserido num conjunto de composições possíveis, reguladas por laços de necessidade. Uma vez

mais, não se trata de simples acréscimos graduais, mas de uma reorganização completa, de uma nova síntese possível graças às realizações que a precedem e às novidades que lhe possibilitam prosseguir.

É preciso esclarecer, a propósito, que a descrição dessas tríades intra-inter-trans comporta diferentes escalas, conforme a abrangência com que se pretende configurar o domínio de conhecimento em questão. Além disso, elas extrapolam seus limites: o nível trans de uma tríade, cedo ou tarde, vai configurar-se como uma mera descrição de propriedades de um sistema – por mais abstratas que sejam as “características” deste. Exemplificando, a mecânica newtoniana, que constitui uma síntese do movimento de afirmação de uma nova cosmologia, em oposição ao universo aristotélico-ptolomaico, constitui-se em um nível básico sobre o qual se aplicam novas suposições decorrentes da estrutura da matéria, o que permite explorar novos domínios, como a Teoria Cinética dos Gases. Esta, por sua vez, inaugura novos métodos, substituindo o determinismo clássico pelo determinismo estatístico, com ferramentas conceituais que são, mais tarde, utilizadas e ressignificadas no escopo da mecânica quântica. Nessa sucessão de teorias, vê-se como os termos teóricos das primeiras são tomados como ponto de partida para as seguintes, compondo os observáveis de sistemas de maior complexidade⁷. O essencial a esse respeito não são as características particulares de um dado estado de conhecimento, mas o processo de estruturação, de superação de formas primeiras de conhecimento por outras progressivamente mais equilibradas.

No modelo de ensino em estudo, cada um desses níveis de conhecimento – intra, inter e trans – comporta, ele mesmos a tríade, ou seja, cada etapa repete, nos seus próprios elementos, o processo total. Isso significa que, em qualquer nível que se considere estão presentes: 1. elementos que descrevem os observáveis (intra); 2. elementos que permitem ao sujeito configurar um funcionamento para o sistema (inter);

⁷ Segundo PIAGET & GARCIA (1984, p. 189-190), os “*termos observáveis*” de uma teoria são constituídos por certas propriedades, tomadas arbitrariamente como ponto de partida, dos objetos aos quais se aplica a teoria. Por sua vez, os “*termos teóricos*” são conceitos que não são tomados como dados pela teoria, posto que ela mesma se encarrega de introduzi-los ou caracterizá-los com precisão. Segundo os autores, termos que são não-teóricos (observáveis) em relação a uma teoria dada são produto de construções teóricas em teorias anteriores.

e 3. uma “teoria”⁸ que lhe permita explicá-lo (trans). Disso, resulta um processo de estruturação do real que lembra a forma de fractais, que indicam o modo como as formas de entendimento mais primitivas são superadas por outras, que aumentam seus poderes de assimilação, ao mesmo tempo que modificam os instrumentos que utiliza, para dar sentido à realidade – nessa representação os níveis mais externos são os mais abrangentes, o que configura um movimento em espiral (conforme a fig. 2).

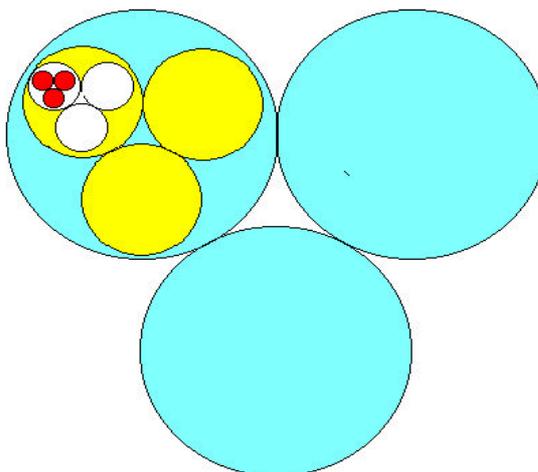


Figura 2: Representação de níveis sucessivos de conhecimento na forma de fractuais

Um exemplo ajudará a compreender o modelo proposto. O quadro a seguir diz respeito ao planejamento de um curso de eletricidade básica⁹, oferecido a professores de ciências e orientado segundo diretrizes compatíveis com a introdução desse tema na oitava série do Ensino Fundamental.

⁸ As “teorias” a que nos referimos incluem as “*teorias em ação*” (KARMILOFF-SMITH & INHELDER, 1975), que orientam a atividade da criança e as “*teorias implícitas*” (BENLLOCH & POZO, 1996), que o sujeito utiliza sem sentir a necessidade de refletir sobre elas, a fim de explicitar seus argumentos, ou precisar o sentido de cada uma das noções que utiliza para interpretar o mundo à sua volta.

⁹ O Curso “Aprendendo Eletricidade através de Experiências”, de autoria dos professores. Oto Neri Borges e João Filocre, foi oferecido a professores da Rede Estadual de Ensino, em 1996, em convênio firmado pelo CECIMIG com a SEE-MG. Uma análise preliminar, porém mais detalhada, desse curso, segundo o modelo de ensino em pauta, encontra-se em AGUIAR JR.(1999b).

NÍVEIS	ETAPAS		
	INTRA	INTER	TRANS
	Características	Relações/Transformações	Explicações
I CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES	<ul style="list-style-type: none"> • Da lâmpada: dois terminais, caminho contínuo de um terminal ao outro; brilha/não brilha. • Da pilha: dois terminais. • Do fio: metal condutor e encapamento isolante (se houver). • Do circuito: fontes e consumidores de energia elétrica ligados por um fio metálico num percurso fechado. 	<p>RELAÇÕES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lógica das conexões de lâmpadas, fios e pilha – a lâmpada e a pilha devem estar conectadas por fios metálicos, para formar um caminho fechado que passa por dentro de ambas. <p>TRANSFORMAÇÕES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lâmpada brilha/não brilha. 	<p><u>Parte Comum</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • A lâmpada acende porque passa eletricidade pelos fios. <p><u>Parte Diversificada</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • A corrente elétrica sai de um terminal para o outro da pilha e, ao passar pela lâmpada, uma parte da energia que ela transporta se transforma em luz.
II ACENDENDO LÂMPADAS	<ul style="list-style-type: none"> • O que é essencial em um circuito elétrico: fonte de energia, consumidor e conexões. • A corrente que passa pelas lâmpadas percorre um caminho que vai de um terminal da pilha ao outro. • A corrente elétrica não se “gasta” ao passar por uma lâmpada. • Num mesmo caminho, duas lâmpadas iguais brilham igualmente e duas lâmpadas diferentes brilham diferentemente, mas o brilho é maior quando apenas uma delas está ligada. • Em caminhos diferentes, duas lâmpadas iguais brilham igualmente e duas lâmpadas diferentes brilham diferentemente e cada uma delas tem o mesmo brilho do que teria quando ligada sozinha. 	<p>RELAÇÕES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparação de lâmpadas diferentes, segundo as resistências de seus filamentos. • Relação entre corrente, resistência elétrica e brilho da lâmpada. • A corrente elétrica, num circuito, depende da resistência elétrica das lâmpadas: maior resistência, menor corrente. • A distribuição de energia entre as lâmpadas depende de suas resistências. • A distribuição da energia entre as lâmpadas depende da resistência de cada uma delas: maior resistência, maior quantidade de energia recebida. <p>TRANSFORMAÇÕES</p> <ul style="list-style-type: none"> • O brilho das lâmpadas varia segundo as formas de conectá-las entre si e com a fonte. 	<ul style="list-style-type: none"> • A corrente elétrica transporta energia elétrica: maior corrente, maior quantidade de energia transportada; • A quantidade de energia recebida pelas lâmpadas é igual à quantidade de energia fornecida pela pilha (conservação da energia).
III CONTROLAN- DO O BRILHO DA LÂMPADA	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas ligadas num circuito: acendem/não acendem. • O que medem amperímetros e voltímetros; • A distribuição de energia e de corrente em um circuito • O aquecimento da lâmpada; • Resistores variáveis: controlando o brilho de um lâmpada; 	<ul style="list-style-type: none"> • A distribuição de corrente num circuito: lei dos nós. • A distribuição de energia num circuito: lei das malhas. • Associação série/paralelo. • Ligação de amperímetros e voltímetros num circuito. • Relação entre i, V e R: a lei de Ohm. • Potência elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Corrente elétrica como fluxo de cargas elétricas devido a uma diferença de potencial. • Conservação da energia • Interpretação microscópica da resistência e da corrente elétrica.

Quadro 2: Patamares Pedagógicos do Curso “Aprendendo Eletricidade Através de Experiências”

As linhas do quadro descrevem níveis sucessivos de conhecimento, com os elementos intra, inter e trans destacados em colunas e associados a cada um desses níveis. Tais elementos definem: 1. as características com as quais o sujeito descreve o objeto e os elementos/materiais que o constituem – “o que é isso?”; 2. suas relações e transformações – “como funciona?”; 3. os modelos que utiliza para conferir uma dada interpretação a esses fenômenos – “como se explica?”.

Pode-se atribuir um estatuto geral intra-objetal ao primeiro nível de conhecimento¹⁰, uma vez que demasiadamente centrado em características externas do circuito elétrico, e com noções insuficientemente diferenciadas para que se possa estabelecer relações e transformações mais complexas. O segundo nível, centrado nas relações entre corrente, resistência elétrica e brilho das lâmpadas, pode ser designado inter-objetal. Na medida em que se estabelece uma diferenciação entre energia e corrente elétrica, os princípios de conservação garantem uma análise geral do circuito e suas transformações. Contudo as explicações desse segundo nível dizem respeito a leis gerais, com modelos explicativos ainda incipientes e uma análise precária do circuito enquanto totalidade auto-regulável. O terceiro nível, trans-objetal, não apenas realiza um refinamento do nível anterior, mas principalmente configura um modelo microscópico para a corrente e a resistência elétrica.

Os níveis representados compõem parte de um planejamento de ensino, ou seja, definem aquilo que se pretende alcançar e desenvolver por meio de um conjunto de atividades, textos e interações promovidas pelo referido curso. Desta forma, a cada um dos níveis de ensino fazemos corresponder um bloco de atividades, com a intenção de fornecer mediações capazes de aproximar os estudantes das metas estabelecidas. Não constituem, portanto, uma mera transposição de níveis de desenvolvimento de noções revelados em estudos psicogenéticos, nem, tampouco, dos níveis históricos de formulação desses modelos por parte de uma comunidade de especialistas. Embora compatíveis com essas formulações históricas e psicogenéticas, o modelo proposto é original, uma vez que pretende conferir patamares desejáveis de entendimento do sujeito frente a problemas que lhe são colocados pela ação pedagógica. Por isso,

¹⁰ Esse nível “básico” é na verdade uma construção escolarizada. Na medida em que permite distinguir os elementos básicos que constituem o “circuito” segundo uma “lógica de conexões”, comporta um nível inter-objetal, quando comparado com um nível anterior, não escolarizado, ainda mais centrado nos “poderes” da pilha em transferir sua “energia” para a lâmpada. Entretanto, é ainda excessivamente centrado em atributos quando comparado com os níveis seguintes. Poderíamos, então, designá-lo como uma transição intra-inter.

constitui um modelo de ensino que, valendo-se das contribuições da psicologia da aprendizagem e da epistemologia, procura dar-lhes uma nova significação, decorrente da intencionalidade da educação escolar e da dinâmica própria das interações e mediações por ela promovidas. Além disso, as definições dos níveis de abordagem de uma dada seqüência didática recorrem a outros elementos além daqueles relativos a uma análise puramente epistemológica.

Pode-se notar, igualmente, uma progressiva abstração dos níveis propostos, no que se refere tanto aos observáveis do objeto – características do circuito elétrico – quanto às relações e transformações engendradas por esses elementos e, também, em relação aos modelos explicativos de que o sujeito lança mão para interpretar os fenômenos e prever seus resultados. O planejamento descrito sugere que, num primeiro momento, o aluno começa por definir o circuito por seus elementos mais exteriores – fios, pilhas e lâmpadas – e pelo modo como se conectam, definindo uma certa interpretação acerca do mesmo – a lâmpada acende porque a eletricidade passa pelos fios. Os novos observáveis, destacados no segundo nível – brilho das lâmpadas, corrente elétrica, distribuição de energia e resistência elétrica – apóiam-se e são tornados possíveis graças às contribuições do nível precedente, mas não estão, simplesmente, nele incluídos. São elaborados a partir de um processo de abstrações reflexivas, não comportando elementos diretamente perceptíveis. Na representação por meio de fractais, vemos que os três elementos – intra, inter e trans – de um nível convertem-se no primeiro elemento do nível seguinte – intra. Entretanto esse novo patamar de observáveis contém elementos distintos daqueles de partida, constituindo uma reorganização dos conhecimentos diante dos novos problemas enfrentados pelo sujeito.

É preciso notar que a representação das tríades intra/inter/trans por meio de fractais pode sugerir, equivocadamente, que os elementos mais primitivos estejam contidos nos anteriores, e que os seguintes sejam obtidos por meros acréscimos. Ao contrário, porém, as tríades piagetianas procuram destacar justamente mudanças no modo de conceber os problemas, de considerá-los de modo mais local (intra), relacional (inter) ou sistêmico (trans), segundo escalas sempre relativas, porquanto o sujeito, ao examinar uma classe de problemas, acaba por ser conduzido a outras, e assim sucessivamente, no curso de um movimento incessante de interpretação do real. No diagrama dos fractais, procuramos representar as rupturas com auxílio de cores

diferentes. Pretendemos, com isso, sugerir a reconsideração dos problemas e dos conceitos básicos, que, muitas vezes, redefinem o sentido do próprio objeto.

A característica central da análise piagetiana é, a nosso ver, essa tensão dialética entre continuidades e rupturas (AGUIAR JR. 1995). A continuidade funcional dos mecanismos reguladores do desenvolvimento cognitivo não exclui as discontinuidades no processo, pelo contrário, contribui para os determinar, visto que se trata de “*uma reorganização dos conhecimentos à luz de novos pontos de vista e de uma reinterpretção dos conceitos de base*”(PIAGET & GARCIA, 1984, p. 107, grifo dos autores). De um lado, a construção do conhecimento não é um salto no vazio: a única possibilidade de compreensão de algo consiste em partir do já sabido. De outro, as superações não acarretam simples acréscimos, mas reestruturações genuínas, em que o sujeito é levado a negar aspectos que julgava consolidados, a questionar certas crenças já estabelecidas. Por essa via, aquilo que o sujeito constrói em um nível se constitui nos observáveis do nível seguinte, ou seja, em ponto de partida para novas elaborações. Isso se faz quando da ocorrência de problemas colocados ao sujeito – trata-se, agora, de compreender o brilho de duas lâmpadas conectadas em série ou em paralelo – e suportados por um conjunto de mediações, que buscam apoiar e dar uma direção às suas construções.

Pode-se então perguntar: De onde surgem as novidades? Certamente, não podem decorrer do próprio sistema. Elas emergem da atividade cognitiva do sujeito ao lidar com problemas que extrapolam seus limites. Assim, cada uma dessas “estruturas”, enquanto modos organizados de conceber o real, embora fechadas porquanto compõem totalidades, são, também, abertas no sentido de potencializar as interações do sujeito com o mundo físico e social. Os problemas, como tais, são decorrentes desse ambiente social mais amplo e é a natureza dos problemas que, em certo sentido, demarca a direção do pensamento. O que desencadeia a atividade cognitiva é a busca de razões e, se esta é um imperativo da própria razão, a natureza dos problemas colocados é largamente influenciada pelo ambiente social, cultural e histórico em que se encontra o sujeito. Assim, as fontes de majoração do sistema são, por um lado, as questões e problemas colocados pelo meio social e, por outro, a atividade auto-estruturante do sujeito, que realiza as construções compensatórias que geram as novidades. Isso define o modo como sujeito e objeto de conhecimento são considerados por PIAGET & GARCIA:

“Na interação dialética entre o sujeito e o objeto, este último se apresenta imerso em um sistema de relações com características muito diversas. Por uma parte, a relação sujeito-objeto pode estar mediatizada pelas interpretações que provêm do contexto social em que se move o sujeito (relações com outros sujeitos, leituras, etc.). Por outra parte, os objetos funcionam de certa maneira – socialmente estabelecida – em relação com outros objetos e com outros sujeitos. No processo de interação, nem o sujeito nem o objeto são, por conseguinte, neutros.” (1984, p. 245)

Os elementos – intra, inter e trans – no interior de cada nível de entendimento, compõem uma dada visão sobre o objeto do conhecimento e são interdependentes. Desse modo, os observáveis (intra) são orientados por um modelo explicativo (trans) por mais elementar que seja este e, ao mesmo tempo, delimitam as transformações e relações que o sujeito é capaz de estabelecer (inter). Seja de um modo mais elementar, ou mediante teorias refinadas e abstratas, todo nível de conhecimento configura uma certa resposta a essas três perguntas fundamentais ao objeto: 1. O que é isto? 2. Como isso funciona?; 3. Por que isto funciona assim? A primeira questão remete à *ontologia*, ou seja, à constituição e natureza do objeto; a segunda aponta para a *fenomenologia*, isto é, para a descrição dos processos em termos das variáveis intervenientes e suas transformações; a última remete à *causalidade*, ao movimento que conduz o sujeito a “explicar” o real, partindo de sistemas de composições necessárias.

Segundo PIAGET & GARCIA (1984: 40), a existência e generalidade dessas sucessões intra/inter/trans na construção do conhecimento constitui o melhor dos argumentos em favor de uma epistemologia construtivista. O empirismo poderia explicar a passagem do intra ao inter, já que se trata de passagem de predicados a relações e estas podem surgir por simples constatações – abstrações pseudo-empíricas. A passagem do inter ao trans comporta, porém, a construção de composições necessárias e não mais simplesmente gerais, o que só seria possível recorrendo-se ao papel ativo do sujeito do conhecimento. Quanto ao apriorismo, a dificuldade estaria não mais em explicar a construção dessas totalidades, mas em compreender por que elas devem ser preparadas por análise de qualidades e atributos – intra – e por relações e transformações – inter.

Essa discussão epistemológica tem conseqüências pedagógicas importantes. Enquanto a pedagogia de orientação condutivista compõe um currículo em que a aprendizagem é organizada numa seqüência linear e acumulativa, boa parte dos modelos de ensino de ciências voltados para a promoção de mudanças conceituais cometem o

erro oposto, ao ignorar a existência de patamares intermediários entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os grandes princípios estruturadores do pensamento científico. Alguns autores (HEWSON, 1981; POSNER et al., 1982; CAREY, 1985) postulam a existência de tipos distintos de mudança – de um lado, as mudanças “fortes”, “radicais” ou de “troca conceitual”; de outro, as mudanças “fracas”, de “captura conceitual”. Entretanto, tais abordagens não estabelecem nenhuma relação entre as várias formas de mudanças e concentram seus esforços na promoção de mudanças mais profundas, dirigidas aos elementos centrais e organizadores do pensamento científico, justamente os mais difíceis, já que mais afastados das interpretações de senso comum. Nos termos do modelo que apresentamos, é como se se pretendesse alçar ao nível trans, sem ter consolidado os níveis intra – centrado nas propriedades e atributos do sistema – e inter – voltado para o desenvolvimento de relações e transformações.

O modelo didático que propomos pretende estruturar o ensino de maneira a permitir reconhecer e valorizar os progressos dos estudantes, bem como suas dificuldades na compreensão das formas mais elaboradas de conhecimento, consagradas pelo pensamento científico. Para tanto, ele não está centrado apenas nos estados finais de conhecimento que pretende promover, mas, especialmente, nos mecanismos de passagem, de estruturação. Portanto, na definição de níveis intermediários e dos elementos – intra, inter e trans – que compõem cada um desses níveis. Pretende-se, assim, tirar o máximo proveito daquilo que o estudante já sabe, ou seja, sublinhar a heurística positiva de suas concepções e idéias prévias (SARAIVA, 1991). Em lugar de um discurso científico simplificado, o que se propõe é a evolução de idéias, a partir de uma construção teórica simples, fundamentada em certas crenças da criança e orientada para construções cada vez mais abstratas e generalizadas. O modelo em questão visa constituir-se em uma terceira via para o ensino, uma vez que nega tanto a apropriação fragmentada e segmentada dos conhecimentos, quanto a possibilidade de compreensão de uma totalidade sem o ir e vir dos conceitos e relações em suas diferenciações.

2.3. Análise Psicológica dos Processos de Aprendizagem

A distinção entre os planos epistemológico e psicológico da obra de Piaget é, a nosso ver, condição indispensável para um entendimento de suas contribuições e implicações para a prática pedagógica. O tratamento epistemológico diz respeito à análise dos níveis de conhecimento, sem qualquer referência ao sujeito que o elabora, às

circunstâncias, motivos e contextos particulares em que se dá sua produção. Essa é uma característica marcante da produção intelectual de Piaget e está essencialmente vinculada ao seu projeto e à sua maior indagação: Como é possível ao homem alcançar conhecimento, isto é, organizar, estruturar e explicar o mundo em que vive?

O exame dos aspectos psicológicos diz respeito não apenas aos mecanismos de construção de que cada sujeito deve lançar mão para interpretar a si mesmo e ao mundo à sua volta, mas também às circunstâncias que o orientam nessa direção. Os dois aspectos, psicológico e epistemológico, estão intimamente relacionados e o segundo deriva do primeiro, na medida em que não há conhecimento sem desenvolvimento da subjetividade.

Considerações a respeito das condições psicológicas do aprender conduzem aos fatores motivacionais que dirigem toda e qualquer conduta humana. Nesse sentido, aos referenciais inicialmente formulados pelo modelo proposto, referentes à gestão do conteúdo do ensino, devemos acrescentar outro conjunto de exigências relativas à gestão da sala de aula (GAUTHIER et al., 1998), o que remete a fatores contextuais e motivacionais que sustentam o engajamento cognitivo dos estudantes (PINTRICH et al., 1993). Desse modo, às três perguntas básicas decorrentes do modelo proposto - *O que é isto? Como isto funciona? e Por que isto funciona assim?* – devemos acrescentar uma quarta, relativa a aspectos não estritamente cognitivos: *por que/para que eu devo saber isso?* Certamente, o papel dos professores em desencadear esse engajamento a partir de relações de mútuo respeito e afetos, encontra-se além das possibilidades de nosso modelo, cujas proposições referem-se à gestão dos conteúdos do ensino. No entanto, dada a importância dos mesmos, não poderíamos deixar de evocá-los nem, tampouco, de considerar sua pertinência ao planejar a organização da classe na realização das atividades propostas.

Segundo PIAGET & GARCIA (1984: 128), o que explica a generalidade das tríades dialéticas intra/inter/trans em todos os domínios do pensamento e em todos os níveis de formulação, são as condições que as leis gerais de assimilação e equilibração impõem a toda aquisição cognitiva. O processo de equilibração refere-se ao mecanismo regulador que conduz o sujeito a elaborar novos instrumentos – operatórios, práticos ou conceituais – em suas interações com o real. O termo equilibração resulta da atividade que conduz a um novo e mais favorável patamar de equilíbrio, como resultado da compensação de perturbações, novidades identificadas pelo sujeito e que lhe parecem

ameaçar a estabilidade e coerência de seu modo de compreender a realidade e agir sobre ela.

Assim, os diferentes patamares de equilíbrio – designadas por fases intra, inter e trans-objetais – constituem a dimensão epistemológica de um problema cuja explicação psicológica se encontra na Teoria da Equilibração. De um ponto de vista epistemológico, compreender o problema da mudança conceitual consiste em configurar os diferentes níveis de formulação de conhecimentos e mostrar o que cada um deles acrescenta ou modifica em relação aos precedentes, bem como de que modo o que é introduzido vem a ser tematizado ou reorganizado mais adiante. Do ponto de vista psicológico, trata-se de configurar o que o sujeito faz em cada um dos momentos de mudança; por que o faz, ou deixa de fazê-lo, e em até onde leva a termo as mudanças assim tornadas possíveis.

É importante salientar que, embora relacionadas, as dimensões psicológica e epistemológica das mudanças nem sempre se fazem acompanhar uma da outra. Um nível de conhecimento epistemologicamente mais equilibrado pode mostrar-se inadequado ao sujeito, diante de certas circunstâncias, uma vez que suas escolhas são sempre orientadas por desejos, intenções, valores e motivações que ultrapassam e dirigem os critérios de ordem racional. Entretanto, sempre que o sujeito formula um patamar majorante em termos epistemológicos, pode-se dizer que esse novo patamar foi resultado de um processo de equilibração. Desse modo, PIAGET & GARCIA (1984) estabelecem a correspondência entre os níveis intra, inter e trans-objetais e as três formas da equilibração (PIAGET, 1976).

A primeira e mais elementar forma de equilibração, que se manifesta na fase intra, decorre da interação elementar entre os esquemas do sujeito e os objetos a assimilar. Diante de um novo domínio, o sujeito procura assimilar o objeto diretamente a partir de seus esquemas de conhecimento, tomados isoladamente, com coordenações insuficientes ou precárias entre si. A segunda forma de equilibração, que decorre das contradições engendradas pelo jogo de assimilações e acomodações elementares do nível anterior, conduz a equilibrações esquema-esquema, por meio de assimilações e acomodações recíprocas¹¹. O sujeito procura reunir os subsistemas assim vinculados em

¹¹ Uma assimilação recíproca ocorre entre dois ou mais esquemas, quando estes se aplicarem aos mesmos objetos. Para que haja coordenação entre os sistemas a religar, e não apenas fusão deformante, ela pode fazer-se acompanhar de acomodações igualmente recíprocas (PIAGET, 1976).

formas mais estáveis de coordenações e de transformações, daí o caráter inter desta segunda etapa. Uma terceira forma de equilíbrio impõe-se, contudo, pela multiplicação de subsistemas, que ameaça a unidade do todo. Surgem, então, as estruturas de conjunto, que caracterizam o nível trans. Trata-se de uma equilíbrio entre esquema e totalidade, o que configura relações hierárquicas e não mais colaterais.

Outro aspecto do problema consiste em reconhecer o que faz um sujeito quando depara – e, portanto, reconhece – uma perturbação. Piaget destaca três condutas, a que denomina *á*, *â* e *ã* segundo as modificações introduzidas pelo sujeito e os procedimentos de que se utiliza para afastar a perturbação. Numa conduta mais elementar, de tipo *á*, o sujeito procura eliminar a perturbação por negação, negligenciando-a ou afastando-a provisoriamente. Segundo MACEDO (1994), o recalco cognitivo cumpre a função de evitar provisoriamente conflitos quando estes não comportam solução possível no sistema, ou quando o sujeito não se encontra disposto a fazê-lo. A conduta *â*, mais favorável que a anterior, consiste em tentativas mais ou menos localizadas de integração do elemento perturbador à estrutura conceitual do sujeito, mediante modificações desta. Por fim, as condutas *ã* são aquelas em que o sujeito antecipa as perturbações enquanto variações possíveis de sua estrutura, deduzindo-as a partir destas.

Embora as condutas *á*, *â* e *ã* tenham alguma correspondência com as formas de equilíbrio anteriormente mencionadas, distinguem-se delas, na medida em que abordam outro aspecto do problema. As formas de equilíbrio dizem respeito aos elementos que entram em jogo nas compensações realizadas pelo sujeito diante de um problema, enquanto as condutas se referem ao comportamento do sujeito nesse contexto. As condutas só fazem sentido por referência à perturbação que as origina. Por sua vez, as formas de equilíbrio destacam a atividade compensatória do sujeito. Dependendo da natureza do problema, ou perturbação, pode-se ter uma conduta *ã* acompanhando uma forma elementar de equilíbrio. Por exemplo, um bebê, ao engatinhar, pode perturbar-se diante de um obstáculo colocado entre ele e o objeto de seu desejo; a superação dessa perturbação pode, no entanto, ser “deduzida” a partir do grupo prático de deslocamentos.

A consideração dos aspectos psicológicos da aprendizagem envolve, ainda, o reconhecimento da imprevisibilidade de condutas e de possíveis construções de um sujeito, mesmo supondo-se serem dados os parâmetros que definem as condições iniciais do sistema, em termos de seus conhecimentos prévios e suas competências

operatórias. Segundo LAJONQUIÈRE (1992), essa indeterminação decorre da natureza ativa da aprendizagem e dos processos de tomada de consciência que a acompanham. Como a aprendizagem se baseia em assimilações ativas que conduzem a conflitos, erros e reformulações, é impossível prever padrões tanto na resolução de problemas específicos quanto na passagem de uma estrutura causal a outra. Por outro lado, o aprender é comandado e regulado por uma série de mecanismos inconscientes e sua consciência progressiva será sempre parcial, visto que “*entre a aquisição de conhecimentos e o conhecimento simultâneo desse processo concreto, só pode haver incompatibilidade psicológica*” (LAJONQUIÈRE, 1992, p.63).

Assim sendo, a identificação de níveis de conhecimento, na história das ciências, na psicogênese das noções elementares ou na aprendizagem escolar, é um ato *a-posteriori*. Não é possível prever-se 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. A epistemologia genética apenas indica, entre as múltiplas possibilidades existentes, uma regularidade, que é consequência dos mecanismos gerais que regulam a forma pela qual os seres humanos constroem conhecimentos. Pode-se analisá-las *a-posteriori*, identificando-se padrões e afirmando-se que uma dada resposta, num determinado momento, consistia em uma das possibilidades de um certo sujeito, em circunstâncias conhecidas. Pode-se, também, indicar fatores que favoreceram uma dada produção em detrimento de outras.

Embora não se possam prever seus resultados, grande número de pesquisas realizadas nas últimas décadas no campo da educação em ciências, permitiu evidenciar padrões e modos de raciocínio relativos aos mais diversos conteúdos do ensino básico. Por trás desses padrões, apontaram para sistemas de crenças e pressupostos implícitos que explicariam as tendências do pensamento espontâneo. Portanto, apesar da imprevisibilidade das condutas de cada sujeito particular ao interagir com os objetos do conhecimento escolar, estamos em condições de elaborar “mapas” que permitam prever possíveis “rotas” dos sujeitos em situações específicas de aprendizagem.

Do ponto de vista do ensino, a imprevisibilidade própria do aprender é inquietante. A intencionalidade e o compromisso social da educação escolar exigem 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 entre outros tantos e que, no curso das interações na sala de aula, outras possibilidades podem se concretizar. Os patamares pedagógicos, elaborados com auxílio de categorias gerais da epistemologia genética, são escolhas feitas que fazemos ao ensinar e não devem ser entendidos como condições necessárias para o aprender. Fazemos essas escolhas a partir de uma análise dos conteúdos do ensino, dos conhecimentos e interesses prévios dos estudantes e das metas que estabelecemos para a aprendizagem.

Os patamares pedagógicos, que orientam o planejamento do ensino, devem orientar, ainda, a construção de instrumentos para a avaliação das aprendizagens. Pretende-se, assim, qualificar as mudanças, reconhecer e promover os progressos dos estudantes, no que diz respeito aos observáveis, às relações ou às explicações causais formuladas pelos estudantes no decorrer de suas interações com os conteúdos do ensino. Enquanto os patamares pedagógicos antecipam as interações em sala de aula, as avaliações as acompanham e as sucedem. A partir desses instrumentos de avaliação é possível, pois, destacar os níveis de entendimento dos sujeitos-aprendizes e sua evolução ao longo do ensino.

As etapas de construção de conceitos, em termos dos elementos de caráter intra, inter e trans-objetal, e a sua progressão ao longo do processo são expressão dos mecanismos funcionais de construção de conhecimentos e não, de um caráter estrutural destes. Permitem estabelecer níveis de entendimento, entre outros possíveis, segundo princípios extraídos, em última instância, dos mecanismos que regulam o funcionamento dos sistemas cognitivos. Sendo assim, não há qualquer contradição entre sua formulação e a imprevisibilidade e indeterminação próprias do ato de ensinar e aprender. Apenas acrescentam a essa incerteza elementos de inteligibilidade, de compreensão, que 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. Como em qualquer outra forma de planejamento, porém, uma vez efetuado, podem conduzir à cristalização de certas opções tomadas, a partir de então, como pseudo-necessárias. As vantagens da utilização desse modelo reside no fato de explicitar as formas de entendimento que se pretende alcançar, assim como de apontar para uma direção e uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes ao longo das atividades propostas pelo ensino.

Capítulo 3- O Planejamento do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”

Neste capítulo, vamos desenvolver e fundamentar o conjunto de decisões tomadas quando do planejamento do curso “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”, bem como de modificações nele introduzidas ao longo de seu desenvolvimento. Iniciamos, na primeira seção, apresentando uma visão do ato de planejar o ensino e o currículo como competência profissional básica dos educadores. Para isso, desenvolvemos algumas reflexões sobre as relações entre estratégias de ensino e processos de aprendizagem, que indicam um desejo de aproximação, assim como o reconhecimento de algumas tensões entre esses dois pólos.

O planejamento das intervenções em sala de aula, quando do tratamento da unidade temática em que se baseou o curso, remete a uma discussão mais abrangente a respeito dos movimentos de reformas curriculares de que fez parte. Por isso, na segunda seção do capítulo, contextualizamos a produção dessa unidade temática no âmbito de tais movimentos e explicitamos os princípios de um projeto de ensino de ciências para o segmento de 5^a a 8^a série do Ensino Fundamental que, de algum modo, orientaram esse módulo didático.

Na terceira seção, apresentamos e discutimos, em várias perspectivas, as escolhas tomadas quando da construção da unidade temática – texto e atividades para os alunos. Nela justificamos as intenções e conteúdos do ensino, suas relações no interior da unidade e com outras unidades que compõem o currículo, assim como o nível de profundidade no tratamento dos conceitos envolvidos e sua ênfase no planejamento do curso. Descrevemos, também, os patamares pedagógicos da unidade, que compõem um caminho possível para a aprendizagem e uma “*estrutura didática*” do tópico em questão (LIJNSE, 1995). Especial atenção é dada à progressão das formas de entendimento, do ponto de vista de sua análise epistemológica.

Na última seção do capítulo, pretendemos descrever os contextos em que se desenvolveu o curso, destacando o cenário e seus atores – de um lado, os professores, com seus saberes, repertórios e estilos; e, de outro, os estudantes, suas atitudes, interesses, demandas e habilidades. Fazemos, ainda, uma descrição das estratégias do curso, em termos das atividades realizadas e seus propósitos, destacando o movimento

de reelaboração do currículo em decorrência das ações práticas para sua implementação, em função das avaliações do contexto.

3.1. O Educador e a Ação de Planejar o Ensino

A educação, o ensino e o currículo são práticas sociais e culturais intencionadas e sistemáticas, ou seja, ações que podem ser projetadas, representadas e concebidas antes de sua realização. Através do planejamento, busca-se racionalizar a ação. O plano do ensino confere à ação pedagógica uma direção preferencial, entre tantas outras possíveis, na expectativa de torná-la mais efetiva. No cenário educacional, as metas costumam ser muito generosas, o tempo e os recursos, limitados. Nesse sentido, o planejamento busca otimizar a ação docente.

Por outro lado, a prática pedagógica nutre-se de incertezas e imprevisibilidade: não se pode, certamente, antecipar o curso das interações, retroações e regulações humanas em que se situam o ensino e a aprendizagem. Embora possa ser dirigido por idéias e intenções, o resultado do ensino não pode ser previsto ou antecipado antes de sua realização. Por isso, deve-se entender o planejamento, segundo MORIN (1996, p. 284), como “*estratégia*” e não como “*programa*”. O programa consiste numa cadeia de passos prescritos a serem seguidos rigorosamente e em seqüência; a estratégia, ao contrário, é a arte de trabalhar com a incerteza, compondo cenários de ação que podem se modificar em função de informações, acontecimentos e imprevistos que sobrevenham no curso das ações, em seu conjunto. Na medida em que os estudantes operam com sistemas de conhecimentos, com identidade própria e distinta daquela que caracteriza o pensamento científico, objeto do ensino, torna-se evidente a necessidade de um projeto educativo que se caracterize como estratégia de interações possíveis e desejáveis entre esses dois sistemas de conhecimentos.

O planejamento é, então, uma espécie de guia da ação, porquanto projeta valores, idéias motoras, princípios sobre os quais se organiza e concebe a ação. Sua função é a de orientar e fundamentar escolhas, mas nunca de controlar ou determinar o curso das práticas. Assim sendo, os planos são transformados e recriados ao longo de sua implementação.

Um plano de ensino excessivamente genérico não é suficiente para orientar o desenvolvimento das ações, nem tampouco para definir a formulação de hipóteses de trabalho a serem examinadas quando de sua implementação prática. Por outro lado,

planejamentos excessivamente rígidos e detalhados e uma grande segurança didática podem conduzir à manutenção de metas de aprendizagem sem modificações (VILLANI & PACCA, 1997). A esse respeito, SACRISTÁN afirma:

“Os planos, resumidos como esquemas flexíveis para atuar na prática, proporcionam segurança ao professor/a; assim, abordará com mais confiança os aspectos imediatos e imprevisíveis que lhe são apresentados na ação. O plano prévio é o que permite, paradoxalmente, um marco para a improvisação e criatividade do docente. O plano delimita a prática mas oferece um marco de possibilidades abertas. (1998, p.279)”

Diversos autores (SACRISTAN, 1998; VILLANI & PACCA, 1997) têm enfatizado a importância do planejamento do ensino como competência profissional básica de educadores, bem como sua relevância estratégica em programas de formação inicial e continuada. O plano de ensino facilita processos de comparação, comunicação e revisão, na medida em que leva o educador a expor e justificar suas práticas, a fundamentar os princípios e hipóteses em que se apóiam suas ações. Nesse sentido, o planejamento do ensino, submetido a exame rigoroso e atento, potencializa a reflexão sobre a prática docente. Segundo SACRISTÁN (1998, p. 199), *“o ensino pode ser concebido como uma atividade e uma profissão de planejar, situada entre o conhecer e o atuar”*. Para o autor *“um baixo nível de dedicação a uma atividade previsora e reflexiva como é o planejar significará atividade profissional pouco autônoma ou alto nível de dependência”* (p.201). Ele destaca, ainda, a importância de se reconhecer no planejamento os condicionantes das práticas – como, por exemplo, a heterogeneidade e o número de estudantes por classe –, seu caráter situado e o fato de os docentes, embora sejam seus principais atores, não são os únicos responsáveis pelo planejamento do currículo.

Na perspectiva de um modelo de ensino voltado para a promoção de mudanças cognitivas, o planejamento do ensino de um tópico de conteúdo de ciências envolve as seguintes ações por parte do educador: 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 espera promover; 3. a indicação de níveis intermediários de compreensão que possam compor um sentido e uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes; 4. o planejamento de atividades e instrumentos de mediação que permitam colocar desafios, pôr 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 elaboração de um projeto abrangente de avaliação, que permita destacar os progressos e as dificuldades dos estudantes na consolidação das metas de aprendizagem; 7. a flexibilização do planejamento inicial em função dos interesses, expectativas e características do saber prévio dos estudantes. Para o desenvolvimento dessas ações, é preciso conhecer o tipo de realidade em que a ação se desenvolve – condicionantes da prática –, como operam e funcionam os processos de aprendizagem que se pretende desencadear e qual é a natureza dos conteúdos do ensino e suas relações com os conhecimentos prévios dos estudantes.

Desse modo, o planejamento é informado por uma linha de investigação em ensino de ciências que tem permitido situar padrões e tendências de raciocínio espontâneo sobre o mundo físico. Pode-se dizer que o marco da imprevisibilidade das reações pessoais dos estudantes e do coletivo de um classe se situa no bojo de um conjunto bem definido de modos de pensar, cujo mapeamento geral se encontra, hoje, razoavelmente bem estabelecido¹, o que permite situar e justificar racionalmente as diretrizes para a ação didática. Entretanto o conhecimento sobre concepções dos estudantes acerca dos conteúdos do ensino de ciências não é, em si mesmo, suficiente para designar um plano, ou estratégia, para a ação educativa no sentido de favorecer o progresso dos estudantes. Alguns autores (WHITE, 1994, LIJNSE, 1995, VIENNOT & CHAUVET, 1997) têm realizado pesquisas em microescala, buscando orientar objetivos e estratégias de ensino de tópicos de conteúdo, uma vez que seus resultados não podem ser facilmente generalizados.

O trabalho de LIJNSE (1995) aponta, sobretudo, para uma tensão entre a direção dada pelo ensino e a necessária liberdade própria dos processos de aprendizagem autêntica, significativa e duradoura. Essa tensão entre “liberdade pela base” (*freedom from below*) e “direção pelo topo” (*guidance from above*) só pode ser regulada, empiricamente, por aquilo que o autor denomina “pesquisa evolutiva” (*development research*), processo cíclico de investigação em que se intercalam os seguintes elementos: reflexão teórica, análise conceitual, desenvolvimento do currículo em microescala e pesquisa de processos de interação em sala de aula. Da conjunção desses

¹ Como se viu no capítulo 1, essas formas de pensar têm levado alguns autores a postular a existência de um marco bem estabelecido de crenças e suposições básicas, nos níveis ontológico e epistemológico, sobre o qual opera a dinâmica aberta e flexível da cognição situada (POZO & GÓMEZ CRESPO, 1998, VOSNIADOU, 1994, NEIDDERER & SCHECKER, 1992).

esforços de pesquisa resultam propostas, empiricamente sustentadas, de uma possível “*estrutura didática*” para tópicos de conteúdos.

O modelo de ensino que propomos tem muitos pontos de convergência com essa perspectiva. Mediante um planejamento cuidadosamente refletido e sustentado por teorias do conhecimento e da aprendizagem, busca-se estabelecer uma sintonia entre o trabalho do ensino e as exigências da aprendizagem. O problema não consiste em compor uma seqüência ótima e única de atividades de ensino, mas em oferecer elementos para que o educador possa refletir sobre suas práticas e otimizar suas intervenções.

3.2. Compendo o Cenário: por um Currículo de Ciências Temático, Integrado e Recursivo

O planejamento da unidade temática “Regulação Térmica nos Seres Vivos” foi fruto de um trabalho coletivo, iniciado na Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG e, posteriormente, ampliado por uma equipe de consultores da Secretaria Estadual de Educação de MG na proposição de diretrizes para reformas curriculares e capacitação de professores de ciências. Entendemos ser necessário situar esses movimentos de inovações curriculares, tanto no contexto do Centro Pedagógico quanto no trabalho com a Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais, e, sobretudo, explicitar as opções que fizemos, então, quanto ao desenvolvimento de uma matriz curricular para os últimos anos – de 5^a a 8^a série – do Ensino Fundamental. Desse modo, refletir sobre o planejamento de uma unidade de ensino envolve considerações acerca do modelo e do processo de desenvolvimento curricular do qual faz parte.

No âmbito do Centro Pedagógico da UFMG, esse trabalho iniciou-se a partir dos vínculos entre a Escola de Ensino Fundamental e um grupo de professores da Faculdade de Educação, em torno da orientação, acompanhamento e supervisão de estágios em Prática de Ensino e de assessoria no tratamento dos conteúdos de Física e Química no currículo de ciências. A partir de 1997, decidimos convergir esforços no desenho de propostas curriculares mais abrangentes, que seriam concretizadas na produção de módulos didáticos a serem utilizados e avaliados junto aos alunos da escola². Alguns

² O projeto foi coordenado pelos Professores/as: Maria Emília Caixeta Castro Lima (Faculdade de Educação, Ensino e Aprendizagem em Química), Selma Ambrosino Moura Braga (Centro Pedagógico da UFMG, Ensino e Aprendizagem em Biologia) e Orlando Aguiar Jr. (Faculdade de Educação, Ensino e Aprendizagem em Física).

deses módulos foram produzidos pela equipe de professores responsáveis pelo projeto, outros por alunos de graduação em suas vivências de estágio supervisionado, outros, ainda, por alunos monitores de pós-graduação. Todos esses materiais didáticos deveriam fazer parte de uma matriz curricular comum, cujas concepções se foram delineando com maior clareza à medida em que os trabalhos do grupo se foram desenvolvendo. Com tais iniciativas, pretendíamos fomentar instâncias formativas, aproximando estudantes de licenciatura e professores envolvidos em projetos de inovações curriculares. Além disso, os materiais didáticos produzidos permitiram concretizar algumas de nossas intenções educativas e refletir sobre seus desdobramentos em sala de aula, num esforço constante de avaliação e revisão das propostas de trabalho (LIMA, AGUIAR JR. & BRAGA, 1997; AGUIAR JR., 1999a).

No final desse mesmo ano, fomos chamados pela SEE/MG a compor a equipe de consultores³ do “Projeto Piloto de Inovações Curriculares e Capacitação de Professores de 2º Ciclo da Rede Estadual de Ensino”. Esse projeto envolvia um conjunto de ações destinadas a dar suporte à organização do Ensino Fundamental através de Ciclos de Formação. Entre outras iniciativas, procurou-se estabelecer, junto aos professores participantes, diretrizes curriculares para as várias áreas de conhecimento, de maneira compatível com as demandas sociais colocadas. Pretendemos apresentar, nesta seção, de maneira sucinta, os principais elementos norteadores da proposta curricular elaborada tanto no âmbito do trabalho com o Centro Pedagógico da UFMG, quanto nas diretrizes para a Rede Estadual de Ensino de MG (SEE/MG, 1999).

A nosso ver, a característica central da proposta 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. Essa escolha é contemporânea a vários esforços de inovações curriculares inspirados no movimento CTS, como o Projeto Salters, da Universidade de York (CAMPBELL et al., 1994; LAZONBY, NICOLSON & WADDINGTON, 1992) e o projeto holandês PLON (EIJKELHOF & KORTLAND, 1988; LIJNSE et al., 1990). A decisão de organizar o currículo em temas decorreu da avaliação de que a principal

³ A equipe de coordenação do projeto foi ampliada, com dois consultores por área de conhecimento: Biologia – Selma A. Moura Braga e Carmen Maria de Caro Martins; Química – Maria Emília Caixeta Castro Lima e Nilma Soares da Silva; Física – Orlando Aguiar Jr. e Helder Figueiredo e Paula.

debilidade do processo de escolarização em ciências tem sido o distanciamento entre os conteúdos escolares e a vida contemporânea, seus problemas e desafios.

Em um currículo temático, invertem-se as relações usualmente estabelecidas entre conceitos e contextos. Numa abordagem curricular centrada na estrutura dos saberes disciplinares, os conceitos são apresentados, exemplificados, desenvolvidos e, só então, apresentam-se contextos nos quais se aplicam. Embora tenham a vantagem de organizar os saberes de um modo seqüencial e organizado, tais abordagens mostram-se insuficientes quando se pretende formar um sujeito capaz de reconhecer problemas reais e solucioná-los a partir de um modo de pensar informado pela ciência. Em um currículo temático, parte-se de temas e os conceitos são desenvolvidos apenas quando se fazem necessários ao seu tratamento (LAZONBY et al., 1992).

Assim sendo, pode-se dizer que, em um currículo temático, se desloca a ênfase da generalidade e coerência do conhecimento teórico da ciência em favor de sua relevância e funcionalidade nos contextos da vida cotidiana (LINJSE et al., 1990, p. 102). O apelo central é o da ciência para todos, numa perspectiva de formação para o pleno exercício da cidadania, em lugar de um currículo fortemente acadêmico, voltado para a formação básica daqueles estudantes que terão as ciências naturais como campo privilegiado de trabalho e estudos futuros. A nosso ver, o currículo deve refletir a tensão entre esses dois pólos, relativos à formação geral e à formação acadêmica, procurando atender às diferentes necessidades, possibilidades e interesses dos estudantes.

Na construção de uma matriz curricular para os últimos anos do Ensino Fundamental, procuramos atender a esse duplo compromisso por meio do cruzamento de duas variáveis: de um lado, os conceitos considerados fundamentais no campo das ciências naturais; de outro, os contextos potencialmente significativos e relevantes do ponto de vista dos estudantes. Então, propusemos e negociamos, junto aos professores de ciências participantes do Projeto da SEE/MG, um conjunto de unidades temáticas a serem desenvolvidas, contendo, cada uma delas, um esboço dos conteúdos a ser considerados. Algumas dessas unidades temáticas foram desenvolvidas pela própria equipe de consultores, outras, pelos professores participantes, ao longo do programa. Cada unidade temática consiste em um conjunto de materiais de ensino – textos e atividades–, organizados em torno de um tema ou situação problema, e acompanhada por um “Caderno do Professor”, onde se explicitam as intenções, finalidades e

comentários dos autores, bem como leituras adicionais, visando seu uso flexível e autônomo em sala de aula.

O propósito das unidades temáticas é o de criar condições propícias para uma aprendizagem contextualizada de conceitos e habilidades científicas. Sabemos ser contraproducente dissociar a aprendizagem de conceitos dos contextos que colocam o estudante frente a desafios e problemas. São os contextos que mobilizam a atenção do aprendiz e justificam o esforço intelectual necessário para o estabelecimento de relações e construção de modelos explicativos de maior abrangência e complexidade. Contudo, o contexto de aprendizagem é construído nas relações concretas e específicas da sala de aula, que não podem ser consideradas, de antemão, como garantidas pelas características do material de ensino que se utiliza.

Uma segunda preocupação dos projetos de reforma curricular na Escola do Centro Pedagógico da UFMG e na Rede Estadual de Ensino foi o de superar a dicotomia e fragmentação com que vêm sendo tratados seus conteúdos. Enquanto equipe multidisciplinar, procuramos estabelecer diálogo e conexões entre as abordagens de conteúdos químicos, físicos e biológicos no interior do currículo, recompondo assim a identidade da área de ciências naturais.

A questão da inter, multi e transdisciplinaridade dos conteúdos escolares exige, em nossa opinião, um tratamento diferenciado das questões pedagógicas e epistemológicas. De um ponto de vista epistemológico, uma análise histórica indica a especialização como característica básica da ciência enquanto empreendimento social. Para BACHELARD *“a especialização é o trabalho bem colocado, eficaz, organizado.[...] Não há especialização sem uma consciência aprofundada, sem um aprofundamento da consciência”* (1972, p.28-29). A ciência não expressa a “globalidade” do real, mas trabalha por meio de raciocínios analíticos, segmentando, idealizando e modelando as realidades que indaga e transforma. Por outro lado, na mesma medida em que segmenta para melhor compreender, a atividade científica busca construir uma imagem coerente do mundo natural, o que resulta em sínteses teóricas que sugerem diálogos fecundos entre campos do saber que se julgavam disjuntos. Recentemente, a consciência filosófica dessas mutações e da complexidade do real deu origem a vários propósitos e projetos de investigação multi e transdisciplinares, em que especialistas de diversas áreas debatem temas que, como a questão ambiental, não comportam os estreitos limites dos campos acadêmicos já constituídos (MORIN, 1990;

GELL-MANN, 1996). Parte desses esforços de cooperação e coordenação de perspectivas acabam resultando em novos campos acadêmicos com problemas, linguagem, conceitos e metodologias que lhes conferem certa identidade. De qualquer modo, a consciência do desafio da complexidade afasta o ideal de uma visão holística e totalizadora do real (CERUTTI, 1996).

Tal análise poderia levar, como GIL PÉREZ(1989), a considerar os propósitos de integração e globalização no ensino de ciências como equivocados e infecundos. No entanto a decisão de tratar as ciências naturais como área de conhecimento no Ensino Fundamental não resulta de argumentos de ordem epistemológica, mas, sim, pedagógica. O fato de ser a especialização uma característica fundamental do empreendimento científico, não implica, necessariamente, a sua reprodução nesse nível de ensino (JIMÉNEZ ALEIXANDRE et al., 1991).

Em suas abordagens introdutórias, um ensino de ciências voltado para todos, no sentido de favorecer a aquisição de uma cultura científica básica, conduz ao estabelecimento de objetivos comuns aos diferentes campos disciplinares no que se refere às habilidades de raciocínio e comunicação. Assim, é natural que, no Ensino Fundamental, prevaleça a organização curricular por área de conhecimentos e não por disciplinas. Essa organização, formalmente já existente no sistema educacional brasileiro, choca-se, no entanto, com as práticas de um currículo fragmentado, em que se justapõem conteúdos físicos, químicos e biológicos, com notória predominância destes últimos. A identidade do ensino de ciências está, portanto, posta como um desafio pela própria realidade educacional brasileira. É evidente que isso tem conseqüências diretas na formação de um profissional de sínteses, como deveria ser o professor de ciências para esse nível de ensino (LIMA & AGUIAR JR., 2000).

Além disso, a opção por um currículo temático remete ao tratamento de temas que, por sua natureza, requerem conhecimentos de vários campos disciplinares. É o caso, por exemplo, das unidades “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”, “O caminho do Sanduíche”, “O Sol e a Vida na Terra”, “O Corpo Humano e Seus Movimentos”, entre outras, que desenvolvemos ao longo dos referidos projetos de reforma curricular. Poderíamos, certamente, na escolha das unidades, ter evitado tais temáticas ou, mesmo, fazer um recorte disciplinar em seu desenvolvimento. Entendemos, porém, que as relações entre os campos do saber que elas sugerem são fundamentais para a aquisição de uma cultura científica básica. A compreensão de que os mesmos princípios físicos e

químicos que governam a matéria inanimada também o façam nos seres vivos está longe de ser evidente. Segundo estudo conduzido por BARAK et al. (1997), a superação de concepções vitalistas em biologia está estreitamente vinculada ao desenvolvimento do conceito científico de energia. Os autores sugerem maior relevância ao tratamento do tópico energia em sistemas biológicos, com a consideração explícita dos princípios da termodinâmica. Por outro lado, uma abordagem mais funcional da biologia, menos centrada na descrição de estruturas, não pode prescindir de diálogo com o conhecimento físico e químico. A propósito, GAYFORD (1986) lamenta que, no ensino de biologia, o conceito de energia seja tratado de modo ambíguo e, muitas vezes, inconsistente com o pensamento corrente nas ciências físicas.

O tratamento integrado das ciências naturais não foi entendido como um critério seletivo para o desenvolvimento das unidades do currículo. Em muitas delas – como, por exemplo “Eletricidade em nossas Casas” ou “A Continuidade da Vida” –, o recorte é essencialmente disciplinar. O currículo integrado permite que essas opções sejam feitas e que o aluno tenha uma visão inicial abrangente dos campos de investigação e interesse das ciências naturais. Desse modo, não negamos o caráter disciplinar dos conteúdos científicos e a eles nos remetemos sempre, com o objetivo de identificar conteúdos básicos da aprendizagem em ciências.

Além de temática e integrada, a matriz curricular sobre a qual nos apoiamos pretende ser recursiva, isso é, permitir que diferentes conceitos e habilidades sejam tratados em diferentes níveis de complexidade e em diferentes contextos ao longo do processo de escolarização (DOLL, 1995). A recursividade remete à idéia de progressão, acompanhando e promovendo o desenvolvimento cognitivo do estudante e seus processos de socialização. Visa, igualmente, situar a aprendizagem num tempo mais amplo que os normalmente estabelecidos pelo ensino deste ou daquele tópico de conteúdo. Por isso, o princípio recursivo está intimamente ligado ao desafio de recompor a organização dos tempos escolares em ciclos de formação em lugar da organização seriada. A recursividade impõe uma relação entre as unidades do currículo distinta daquela dos pré-requisitos. Uma lógica de pré-requisitos resulta de opções claras de antecedência e seqüenciação; a recursividade, ao contrário, pretende promover o ir e vir de conceitos em suas relações com outros conceitos, habilidades e contextos de aplicação. O modelo de ensino para mudanças cognitivas serviu, pois, como base e parâmetro para a construção desses níveis de abordagem e progressão no tratamento de

conceitos ao longo do currículo. Evidentemente, dada a extensão de conteúdos envolvidos, seria impossível tratar todos os conceitos do currículo desse modo. Com alguma arbitrariedade, optamos, então, por fazê-lo com alguns conteúdos considerados centrais e estruturadores de uma iniciação ao campo das ciências naturais. Entre eles, destacam-se os conceitos de adaptação biológica, energia, fotossíntese e respiração, propriedades e transformações dos materiais. Além desses conceitos, certas idéias são recorrentes na constituição das ciências naturais, fazendo parte do modo como estas estruturam o mundo natural. Dentre outras, destacamos: transformação e conservação, interação e sistema, transmissão e processamento de informações, regulação e adaptação.

Na perspectiva de uma educação dialógica, é fundamental considerar o ponto de vista do outro. Entretanto, um dos compromissos do ensino de ciências deve ser com a mudança e a evolução dessas formas iniciais de entendimento. A recursividade no currículo envolve, portanto, compromissos com a promoção de mudanças nas formas iniciais de entendimento dos estudantes, buscando desenvolver e consolidar uma visão mais próxima daquelas compartilhadas pela ciência. Devemos não apenas partir dos conhecimentos prévios dos estudantes, tendo em vista suas necessidades e interesses, mas, sobretudo, superar, transformar e transcender tais conhecimentos, interesses e necessidades. Como nos alerta LIJNSE (1990, p. 579), *“simplesmente ensinar os conceitos de física em um contexto significativo de vivências pode estimular a motivação dos alunos, mas não necessariamente diminui as dificuldades de aprendizagem envolvidas, particularmente se os problemas de aprendizagem estão inerentemente relacionados ao próprio contexto.”* Em outros estudos (VEIGA et al. 1989; SOLOMON, 1983b), os atores confirmam que as situações cotidianas não tornam, necessariamente, a aprendizagem mais fácil, uma vez que os estudantes costumam apresentar dificuldades em retornar ao plano teórico a partir de experiências concretas analisadas de outro modo, com outros recursos. Em função de tais constatações, faz-se necessário incorporar às diretrizes do currículo os fundamentos construtivistas do ensino e da aprendizagem. É desnecessário reafirmar esses fundamentos, que já foram devidamente desenvolvidos no capítulo precedente.

3.3. Justificando Escolhas

Tendo destacado a perspectiva do planejamento, sua inspiração no interior de uma matriz curricular, as fontes básicas de pesquisa, estamos, agora, em condições de apresentar e justificar as escolhas feitas quando do planejamento do ensino da unidade temática “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”⁴, fundamentando-as a partir do modelo de ensino para mudanças cognitivas, objeto dessa tese.

3.3.1. Pertinência da Temática

Ao justificar a adequação de uma temática ao currículo, pode-se fazê-lo segundo sua relevância contextual, científica e pedagógica. Do ponto de vista contextual, trata-se de verificar se o tema potencializa o interesse dos estudantes, sendo por eles reconhecido como problemático, significativo e relevante. A relevância científica relaciona-se à importância dos conceitos e relações possivelmente desenvolvidos ao se abordarem o tema e os problemas dele decorrentes. Finalmente, a relevância pedagógica consiste em examinar os limites e possibilidades de, mediante o desenvolvimento e investigação do tema, se auxiliar os estudantes na superação de dificuldades e obstáculos à aprendizagem. Em alguns casos, deve-se estar atentos pelo fato de que o tema pode vir a consolidar certas concepções que convém aprofundar e discutir.

A relevância contextual da unidade “Regulações Térmicas nos Seres Vivos” foi indicada pelos trabalhos que já vínhamos desenvolvendo junto à Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG. Em 1997, fizemos um primeiro ensaio de pesquisa no desenvolvimento de um módulo didático “Construindo Modelos: Calor e Temperatura” com estudantes de 8ª série (AGUIAR JR., 1999a). O material não configurava um contexto específico de trabalho, mas abrangia vários deles no tratamento dos conceitos. Na ocasião, foi possível constatar forte resistência das meninas nas situações que envolviam estudo de máquinas térmicas (geladeiras) e sistemas de refrigeração de motores de automóveis. Uma delas, na avaliação final do trabalho dizia que *“a física já é difícil! Aí você vem falar de máquinas... Fica mais complicado ainda!”*. Nessa ocasião, notamos grande interesse da turma em discutir aspectos ligados às sensações de calor e frio e às formas de regulação e controle de temperatura corporal, interesse que se manifestava em perguntas como: *“Qual é o limite*

⁴ No Anexo 1, reproduzimos a versão da unidade temática utilizada no trabalho com alunos do Centro Pedagógico da UFMG.

de temperatura que o corpo consegue manter sem uso de agasalhos?”, *“Como toleramos temperaturas tão altas em uma sauna?”*. Embora fosse importante desenvolver, ao longo do currículo, temáticas com ênfase em aspectos tecnológicos, avaliamos ser estratégico desfazer a impressão, largamente difundida entre os estudantes, de que a física lida apenas com sistemas de alta tecnologia. Poderíamos, desse modo, aproximar os princípios e conceitos físicos de processos naturais e de comportamentos e atividades dos seres vivos.

No ano seguinte, quando iniciávamos a produção da unidade, realizamos uma entrevista coletiva com cinco alunos de 7^a série, objetivando levantar seus conhecimentos e interesses prévios sobre o tema. Obtivemos, nesta oportunidade, a mesma avaliação, ou seja, de que a temática da regulação térmica nos seres vivos cumpria o requisito de ser relevante, significativa e interessante do ponto de vista dos estudantes de 7^a e 8^a série do Ensino Fundamental. Nossa única objeção era a de que a temática não desenvolve contexto para intervenções e ações práticas no cotidiano. Ela ajuda a compreender o próprio corpo e seu funcionamento, mas, exceto no que se refere aos cuidados com a desidratação e a febre, não demonstra utilidade prática para propósitos imediatos.

Quanto à relevância científica, o tema, 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. Assim, permite questionamentos tais como: *“De que maneira os organismos lidam com a variação nas condições do meio?”*; *“Que atividades e processos internos são desencadeados em nosso corpo sem que deles tenhamos consciência?”*. Os processos de auto-regulação, embora extremamente complexos, expressam idéias fundamentais no campo da biologia, envolvendo relação parte/todo, bem como a transmissão e processamento de informações. Todas essas idéias fazem parte do núcleo central proposto por OGBORN (1994; 1988) em seu “mapa” curricular para o ensino de ciências⁵.

O tratamento das regulações térmicas nos organismos constitui, ainda, um campo privilegiado para a discussão da energia e dos balanços energéticos em sistemas biológicos, possibilitando também que, partindo de exemplos significativos de

⁵ Jon Ogborn considera que o currículo, desenvolvido por meio de “assuntos”, deve abranger um pequeno número de idéias ou “temas” centrais. Assim sendo, propõe cinco temas: vida, matéria, universo, artefatos e informação.

adaptação dos organismos às condições do meio, se aponte para os mecanismos evolutivos subjacentes. Do ponto de vista físico, o tema solicita tratamento de conceitos termodinâmicos, desde os mais elementares e fundadores – equilíbrio térmico, calor e temperatura – até seus princípios gerais – conservação e degradação da energia.

Finalmente, quanto à relevância pedagógica, trata-se de examinar as possibilidades de, pelo estudo da temática, propiciar uma aprendizagem significativa para uma determinada etapa de escolarização. Ao planejar essa unidade, uma de nossas principais preocupações foi a de tematizar as sensações térmicas. A investigação em ciências tem apontado como uma das principais características dos modos de pensar dos estudantes sobre os fenômenos térmicos a aproximação e indiferenciação dos conceitos que utiliza e as sensações térmicas de onde derivam seus modelos (CAFAGNE, 1996). É razoável supor que uma condição para que esses “modos de pensar” possam ser confrontados com os próprios da termodinâmica seja a consideração das sensações térmicas como objeto de conhecimento. Nesse caso, trata-se de tornar observáveis as interações térmicas do corpo humano com os objetos e ambientes à nossa volta, das quais resultam as sensações (SCIARRETTA et al., 1990).

Além disso, em nosso planejamento, partimos do pressuposto de que o caráter aparentemente intuitivo da noção de equilíbrio térmico revela falsas ressonâncias, o que traduz a necessidade de um tratamento mais cuidadoso desse conceito básico para o desenvolvimento conceitual da termodinâmica (CAFAGNE, 1996; THOMAZ et al., 1995; SCIARRETTA et al., 1990).

Do nosso ponto de vista, a construção do conceito de equilíbrio térmico, tal como concebido pela termodinâmica, envolve a sua negação. Assim, 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 e, então, favorecer a construção do conceito de *sistemas isolados*. Muitas vezes, as lacunas nessas informações podem conduzir a interpretações equivocadas (LABURU et al., 2000). Como PIAGET (1978), somos levados a crer que a construção de um conceito envolve equilíbrio entre afirmações e negações (MACEDO, 1979). O contexto de estudo da unidade permite, pois, que sejam abordados sistemas abertos, de equilíbrio dinâmico, tais como os investigados por ARNOLD & MILLAR (1994; 1996).

As idéias prévias dos estudantes quanto ao conceito de energia indicam, também, grandes possibilidades de se associar seu tratamento à temática “Regulações Térmicas nos Seres Vivos”. Segundo DRIVER et al. (1994a, p. 143), os estudantes tendem a relacionar energia apenas aos seres vivos, com ênfase às atividades humanas, à alimentação, à saúde, e aos combustíveis. A partir desse rico campo de possibilidades é que nos propomos a dialogar com as representações que os estudantes fazem a respeito de tal conceito. Para eles, a energia é entendida como algo necessário para estarmos vivos e ativos, mas essa atividade é, geralmente, identificada apenas com aquilo que nos fadiga, com os observáveis ligados à força e aos movimentos do corpo. Assim sendo, manter a temperatura corporal não é entendido como uma “atividade” do organismo. Uma das metas dessa unidade temática consiste, portanto, em expandir o conceito de atividade orgânica para além das características observáveis do comportamento animal.

Uma terceira característica da temática que a aproxima das intenções do currículo, é o fato de apontar para integrações com outras unidades. Ao lidar com a produção de energia nos organismos, nos deparamos com questões ligadas às funções de nutrição – digestão, respiração, circulação e excreção. Por outro lado, o conceito de energia, por sua abrangência e complexidade, desenvolve-se ao longo de várias unidades do currículo, visando-se destacar as idéias de transferências, transformações, conservação, degradação e armazenamento (DUIT & HAEUSSLER, 1994; BÉCU-ROBINAULT & TIBERGHIE, 1998). Nessa unidade, o destaque é dado à idéia de fluxo de energia, com a presença evidente dos demais componentes do conceito. Desse modo, a unidade atende ao princípio didático da recursividade.

No entanto, essa riqueza de relações e a diversidade de conceitos envolvidos na compreensão dos problemas decorrentes da temática da regulação térmica dos seres vivos constitui um problema para o planejamento didático. A organização dos conteúdos, a seleção daqueles que irão constituir o foco de abordagem da temática e uma certa graduação no tratamento dos conceitos é condição indispensável para um ensino orientado para mudanças cognitivas, ou seja, que promova progressos nos modos de pensar dos estudantes em direção aos conteúdos da ciência.

A maior complexidade do planejamento de um tópico de ensino em um currículo temático, em comparação às abordagens de cunho mais acadêmico, decorre justamente do fato de, no primeiro caso, lidar-se não apenas com a estrutura dos conteúdos

científicos mas também com as estruturas de recepção; não somente com o formalismo das teorias científicas, mas sobretudo com os processos de formalização e construção. Além disso, deve-se levar em conta que, ao se tratar de problemas autênticos e reais, aumentam também os conteúdos e relações necessárias para sua compreensão.

Tal complexidade é pertinente aos propósitos desta pesquisa, quais sejam, o de examinar as possibilidades e limites de um modelo de ensino sustentado por um análise epistemológica dos conteúdos do ensino e de uma visão psicológica dos processos de aprendizagem. Segundo SACRISTÁN (1998, p.203), “*quanto mais complexo o currículo ou qualquer parte do mesmo, mais problemático, difícil e, certamente, indefinido será seu possível plano*”. Aumentam, assim, as condições para que o planejamento, o desenvolvimento e a avaliação do curso possam redundar num alargamento de nossa visão sobre o ensino e a aprendizagem em ciências.

3.3.2. Níveis de Abordagens dos Conteúdos da Física Térmica

No planejamento, decidimos dar aos conteúdos da física térmica um tratamento destacado no desenvolvimento da unidade. É preciso, portanto, justificar o nível de abordagem desses mesmos conteúdos, com base nos princípios organizadores do modelo de ensino.

Uma primeira preocupação de nossa equipe foi a de 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, numa abordagem fenomenológica, capaz de descrever e explicar um conjunto de processos através de um pequeno número de conceitos e princípios.

Um segundo critério utilizado para a seleção dos níveis de complexidade no tratamento dos conceitos da termodinâmica foi o de propor um caminho progressivo para a aprendizagem, numa abordagem evolutiva que não se encerra nessa unidade do currículo nem, tampouco, naquela etapa de escolarização. 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, patamar provisório para 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 com modelos científicos, embora difiram deles em outros aspectos.

Considerando, pois, os conhecimentos prévios dos estudantes, reconhecidos nos estudos preliminares à construção da unidade, decidimos destacar, como meta fundamental para a aprendizagem, a superação dos modos de pensar baseados nos constructos dicotômicos frio/quente, fortemente amparados pelas sensações térmicas. A passagem dessa lógica de atributos para uma lógica de relações deveria conduzir aos conceitos básicos da termodinâmica – calor, temperatura e equilíbrio térmico. Segundo Arnold e MILLAR (1996), esses três elementos conceituais são interdependentes, uma vez que não podem ser definidos sem se referirem um ao outro. Juntos compõem uma totalidade, que constitui o modelo mental básico da termodinâmica.

O modelo descrito por esses autores pode ser brevemente enunciado. A temperatura, de um ponto de vista macroscópico, é um termo de comparação entre dois ou mais corpos que determina se haverá, ou não, fluxo de calor entre eles e qual será o sentido dessa transferência. Calor é energia que se transfere entre dois ou mais corpos em decorrência apenas das diferenças entre suas temperaturas. Como essa transferência acarreta variações de temperatura, o corpo que emite calor terá sua temperatura reduzida e o outro, que o absorve, terá o valor de sua temperatura elevada. Desse processo resulta uma igualdade final de temperaturas, a que se denomina equilíbrio térmico, situação a partir da qual o fluxo total de calor entre os corpos envolvidos se torna nulo.

Sob a aparente simplicidade dessa “estória”, ocultam-se relações extremamente complexas e de difícil generalização. Pode-se perguntar, por um lado, o que dá origem à diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura: por que razão as leituras de um termômetro não nos fornecem uma imagem completa das interações térmicas, e o que nos compele a criar mais um conceito, a que denominamos transferência de calor? Por outro lado, sendo disjuntos, quais relações se estabelecem entre esses dois conceitos?

Tais questões podem ser respondidas tendo por referência um conjunto de fenômenos térmicos, embora sua simples constatação e registro seja insuficiente para a formação dos conceitos a que nos referimos acima. A diferenciação entre as grandezas calor e temperatura para lidar com as interações térmicas decorre de alguns fatos

fundamentais, a saber: 1. o aquecimento/resfriamento diferenciado dos materiais; 2. o caráter intensivo da temperatura – não-dependência da quantidade de matéria – e extensivo da quantidade de calor; 3. a manutenção de temperatura nas mudanças de fase, que se fazem acompanhar por transferências de calor; 4. as variações de temperatura decorrentes de realização de trabalho – expansões ou compressões adiabáticas.

Disso resultam relações assimétricas e incompletas, sem implicação mútua. Assim, as transferências de calor entre dois corpos A e B, geralmente resulta em mudanças de temperatura em A e em B, mas isso nem sempre ocorre. Os materiais envolvidos podem estar em transição de fase; uma das fontes pode ser considerada “infinita” em relação à massa da outra, o que acarreta uma variação de temperatura apenas local e desprezível como um todo; o sistema constituído por A e B pode não ser isolado, havendo outros fluxos de calor que possam não estar sendo considerados ou, ainda, ser acompanhado de realização de trabalho mecânico ou elétrico.

Por outro lado, partindo-se da afirmação de que “as temperaturas de dois corpos A e B são desiguais”, pode-se concluir, então, que “haverá transferências de calor do objeto à maior temperatura para o outro, a uma temperatura inferior”. A negação da primeira afirmação não autoriza, porém, a negação da segunda, pois pode haver transferência de calor entre corpos à mesma temperatura ou, mesmo, inversão do fluxo de calor, por meio de mudanças de estado físico – por exemplo, pela evaporação do suor da pele.

As exceções são, assim, numerosas e não se admira as imensas dificuldades dos estudantes em estabelecer relações estáveis e abrangentes entre dois conceitos que, em princípio, parecem traduzir uma única e mesma idéia de “quentura” ou “frieza”. Acrescente-se a isso o fato, nada desprezível, de ser a temperatura uma medida indireta, sendo a quantidade de calor medida a partir da variação de temperatura em sistemas bem determinados, em condições especiais e ideais de isolamento. Mede-se, pois, a quantidade de calor a partir da medida de variação de temperatura, mas não se pode daí concluir, como fazem com freqüência os estudantes, que a temperatura seja uma medida do calor de um corpo.

Não bastassem todos esses complicadores, lida-se, ainda, no campo da ciência termodinâmica, com uma linguagem imprecisa e enganadora, que traduz um modelo de calor como matéria imponderável que penetra, armazena e fica contido no interior dos corpos, sendo por eles liberada ao ambiente. O conceito termodinâmico do calor, como

variável de processo, e a diferenciação entre este e a energia interna – potencial e cinética – das partículas que constituem a matéria é, certamente, uma construção tardia e extremamente difícil. Segundo os termos propostos por CHI et al. (1994), tal transição representa uma mudança no *status* ontológico do calor, ou seja, da categoria “matéria” para a categoria “processo”. Mesmo estudantes em nível universitário têm dificuldades em abandonar imagens associadas ao que seja “o calor”, como indica a conclusão indignada de um de meus alunos do último ano de licenciatura em física, ao indagar sobre a conceituação de calor na termodinâmica: “*Então o calor não existe! O que é o calor afinal?*”.

Convém lembrar, ainda, que o entendimento do calor como variável de estado é comum tanto a uma interpretação substancialista quanto aos modelos mecanicistas, em suas primeiras formulações. Na história da ciência, a diferenciação entre variáveis de estado e de processo é tardia e se estabelece com clareza apenas em 1875, com Neumann. Para Rumford, Joule e Clausius, em seus trabalhos na primeira metade do século XIX, o trabalho mecânico era convertido em calor. Essas mesmas dificuldades são vivenciadas por estudantes de Ensino Médio e Superior em seus cursos de termodinâmica, o que nos desafia a construir caminhos para seu ensino em diferentes níveis de escolarização (VAN ROON et al., 1994).

Apesar dessas dificuldades, é preciso considerar a importância fundamental dos conteúdos da física térmica na educação básica – Ensino Fundamental e Médio –, tanto por sua relevância prática, em questões como isolamento, refrigeração, eficiência e rendimento de motores, quanto por sua importância na construção de modelos físicos estruturadores da visão científica que temos do mundo. Por isso, o tratamento dos fenômenos térmicos pode permitir duas aquisições fundamentais: de um lado, a construção do conceito científico de energia e seu princípio de conservação (DUIT & HAUESSLER, 1994); de outro, a elaboração do modelo cinético molecular da matéria (SILVA, 1995).

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 num planejamento de ensino com as seguintes características:

1. A superação da lógica de atributos quente/frio na interpretação dos fenômenos térmicos, como meta fundamental.
2. Tratamento exclusivamente macroscópico, centrado na “estória” básica da termodinâmica, mediante a construção concomitante dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico.
3. Abordagem qualitativa e geral, evitando-se a apresentação de equações e resolução de problemas numéricos.
4. “Convivência amistosa” com a idéia de calor “contido” nos corpos, entendida como etapa intermediária na construção de conceitos científicos.
5. Consideração do calor como forma de energia, isso 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, numa 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 ⁶. Isso gera, porém, alguns impasses pedagógicos dignos de nota.

Alguns autores têm apontado para a natureza ambígua dos termos calor e energia em textos didáticos, o que conduziria a uma consolidação de interpretações errôneas dos estudantes (SILVA, 1995; ZEMANSKY, 1970; SUMMERS, 1983; WARREN, 1983). Para LIJNSE (1990), a estrutura conceitual, no domínio da termodinâmica, requer uma precisão de definições e demarcação das noções envolvidas só obtidas por meio de abstrações matemáticas. Isso faz com que seja praticamente impossível falar, do ponto de vista da física, de modo consistente e correto acerca de conceitos como energia e calor. No discurso profissional, diz Lijnse, tal ambigüidade não é problemática, pois é sempre possível, quando necessário, especificar os enunciados, recorrendo-se ao formalismo matemático.

A decisão de tratar desses conteúdos no ensino obrigatório e o modo como o rigor e a precisão conceituais sejam considerados pelo ensino decorrem de escolhas relativas a metas e objetivos da educação básica. Segundo DUIT (1984), estas localizam-se no propósito geral de ciências para todos, no sentido de permitir uma aproximação entre o mundo da ciência e o mundo da vida cotidiana. Se queremos lidar com conteúdos científicos, com sua inevitável complexidade, para refletir sobre acontecimentos do mundo real, é necessário relaxar os compromissos com o rigor e o refinamento das teorias científicas. A ênfase em aspectos ligados à estrutura formal do conhecimento científico é, assim, deslocada para uma ênfase nos processos de construção, formalização e gênese. Esses dois aspectos, da estrutura e da gênese dos conhecimentos, são complementares, mas suas relações no campo da pedagogia envolvem compromissos que apontam em direções contrárias (MACEDO, 1994).

De um ponto de vista estrutural, importa verificar a fidelidade do saber ensinado em relação ao saber sábio, o rigor de suas proposições e definições, o sentido unívoco dado aos conceitos e seu lugar na estrutura do campo disciplinar. Aponta na direção de

⁶ PLANCK (1945) realiza esse projeto em seu “Tratado de Termodinâmica”. No prefácio à primeira edição, de 1887, afirma que o tratamento exclusivamente macroscópico, embora mais indutivo, é mais adequado ao “presente estado da ciência”. No prefácio à 2ª edição, de 1905, acrescenta que o 2º princípio da termodinâmica, ao contrário do 1º, não possuía um significado independente, visto que seu conteúdo completo somente pode ser compreendido se se considerarem seus fundamentos nas teorias de probabilidades desenvolvidas por Clausius e Maxwell e depois estendidas por Boltzman.

um estado de conhecimentos bem estabelecido, que deve ser trilhado de maneira precisa, com o mínimo de desvios e erros. É impossível pensar a educação sem um mínimo de compromisso com estruturas de saberes consagrados, aos quais a cultura de uma dada sociedade confere valor especialmente relevante, a fim de constituírem elementos que compõem a formação básica de suas crianças e jovens. Entretanto o excesso de formalismo e a elaboração de metas de aprendizagem excessivamente apegadas às estruturas conceituais de saberes especializados conduzem, freqüentemente, ao dogmatismo, ao verbalismo inútil e improdutivo e ao distanciamento entre os processos de escolarização e as realidades da vida contemporânea.

A ênfase nos processos de formalização ou gênese, pelo contrário, conduz a uma ação pedagógica mais centrada em caminhos e processos, pois referem-se a um conhecimento que é sempre um *vir a ser*. Nesse sentido, apontam para a evolução de modelos de pensamento progressivamente mais abstratos e inclusivos, sem, com isso, perder seu contato com as realidades em que se pretende intervir, contando com instrumentos qualificados para a ação e reflexão. Cada conceito, formado num dado contexto de aprendizagem, deverá dar lugar, em outros momentos e circunstâncias, a novas reflexões e superações, em um processo contínuo de reestruturações cognitivas.

Por outro lado, a opção pelos processos de formalização e construção de conhecimentos não pode negar o caráter cultural do ensino e da educação. Se pretendemos introduzir nossos jovens ao mundo da ciência, fazendo-os refletir sobre seus impactos e produtos, apreciar a beleza de suas construções teóricas, saber o que é e como trabalha a ciência, isso requer metas de aprendizagem bem definidas e uma dada direção ao processo.

O conceito de calor, tal como desenvolvido em nosso planejamento, traduz uma certa imprecisão, mas aponta para evoluções nos modos de pensar dos estudantes em direção aos conceitos científicos. As conquistas previstas nesse planejamento são significativas: define-se um sentido único para transferências de calor; estabelece-se a necessidade de sua diferenciação em relação ao conceito de temperatura; sinaliza-se para a quantificação dessas transferências; fortalecem-se os vínculos entre calor e outras formas de energia, compondo os fluxos de calor parte dos processos a serem considerados nos balanços energéticos. Outras fragilidades podem, contudo, ser

apontadas: o calor é, ao mesmo tempo, propriedade de estado e de processo⁷, considerado, ainda, como uma “forma de energia” capaz de produzir efeitos. Como HALBWACHS (1984), acreditamos que a interpretação da energia como agente de transformações, embora incorreta de um ponto de vista científico, tem papel positivo na construção da causalidade física.

3.3.3. Conteúdos da Unidade e suas Relações

O cenário de um currículo temático oferece uma gama ampliada de conceitos e relações. Uma das características do planejamento deve ser, portanto, o de limitar seu alcance, de modo a tornar factíveis as metas de aprendizagem propostas. ARNOLD & MILLAR (1996) destacam que o pequeno número de idéias-chave é particularmente útil ao professor no desempenho de suas funções de orientar, conduzir e monitorar a aprendizagem dos estudantes. Do mesmo modo, ao analisar estilos de ensino, ORQUIZA DE CARVALHO (1998) destaca a conveniência e a maior efetividade de se trabalhar com um menor número de idéias-chave, dando aos estudantes oportunidades variadas para se familiarizem com os conteúdos do ensino e com situações experimentais a eles associados. O planejamento do ensino deve, então, compor uma visão global e sistêmica do que está sendo ensinado, assim como uma progressão dos conteúdos envolvidos.

LIJNSE e colaboradores (1990) relatam que, ao desenvolverem as unidades do projeto PLON, procuravam definir uma “pergunta-chave” que não só cumpria a função de ser um guia de aprendizagem para os alunos, mas também funcionava como critério demarcador de conteúdos a serem tratados em cada uma delas. Ao produzir a unidade, não tivemos uma preocupação explícita em fazê-lo, mas nos parece que a primeira pergunta do pré-teste tinha esse caráter. Sua formulação era: *“Você deve saber que, quando estamos saudáveis, a temperatura interna do nosso corpo se mantém relativamente constante, mesmo quando a temperatura ambiente varia (dias muito quentes ou muito frios). Em sua opinião, como isso é possível?”*. Deve-se notar, porém, que o contexto dessa questão era restrito ao estudo do corpo humano e a unidade acabou tendo uma abrangência maior, envolvendo diferentes grupos de animais.

⁷ Ao contrário de ARNOLD & MILLAR (1996), evitamos utilizar analogias que reforçassem o esquema de calor como quantidade de energia armazenada nos corpos, procurando usar o conceito apenas em referência a processos. O ensino do conceito foi, entretanto, lacunar nesse aspecto e “convivemos” com essa interpretação, largamente utilizada pelos estudantes.

Enquanto escrevíamos a primeira versão dessa unidade temática, adotamos uma estratégia de listar os conteúdos conceituais presentes em seu desenvolvimento (ver Anexo 2). Ao fazê-lo, tornou-se claro o número excessivo de relações presentes nos nossos primeiros esboços, o que constituía um problema tanto para a gestão do ensino quanto para a promoção de aprendizagens.

Procuramos, então, identificar quais das trinta e cinco idéias organizadoras, eram de fato relevantes e centrais no desenvolvimento da unidade, quais eram periféricas e suplementares e quais deveriam ser excluídas. Algumas dessas decisões foram arbitrárias, enquanto outras decorreram da “pergunta-chave” que orientava a unidade temática.

A abrangência dos conteúdos identificados no tratamento dessa unidade temática levou-nos a considerar sua distribuição como elementos de uma “gaussiana”, em cuja região central encontram-se os conceitos que definem metas de aprendizagem mais específicas da unidade. Nas bordas dessa curva normal de distribuição, situam-se outros conceitos, periféricos em relação aos primeiros, por uma decisão de caráter pedagógico. Alguns dos conceitos “periféricos” referem-se a idéias relevantes que foram objeto de estudo em outras unidades do currículo, retomadas por sua importância na resolução dos problemas apresentados. Outros desses conceitos, relativos a informações adicionais, apontavam para eventuais aprofundamentos futuros, ou mesmo para o enriquecimento do currículo daqueles estudantes que revelassem interesse e habilidades especiais em ciências naturais.

Foi bastante penoso realizar essa seleção previamente, e ela foi se constituindo à medida em que as atividades e os textos iam sendo produzidos. Ao final, uma visão de toda a unidade permitiu destacar um “mapa” das idéias-chave e suas relações (ver Anexo 3), em que se destacam as idéias que, a nosso ver, constituem o núcleo conceitual da unidade, ou seja, a região central da “gaussiana”.

A esses conteúdos conceituais, podemos acrescentar outros, de índole mais geral, decorrentes, em última instância, dos ambientes de aprendizagem que se pretende configurar. O alcance da aprendizagem em ciências deve estender-se para além do conhecimento de determinados conteúdos científicos, de modo a permitir o desenvolvimento de capacidades de raciocínio e argumentação a partir de questões e problemas cientificamente relevantes. Para isso, é preciso planejar situações de aprendizagem em que os estudantes se deparem com problemas; discutam como

resolvê-los; examinem suas próprias soluções e a dos colegas; utilizem pensamento lógico e crítico; formulem hipóteses e confrontem-nas entre si e à luz de evidências; considerem idéias e explicações alternativas; e pratiquem o discurso científico, constituindo verdadeiras comunidades de aprendizagem nas aulas de ciências (JIMÉNEZ ALEIXANDRE, 1998; DUSCHL, 1995).

Outra preocupação, ligada às metas e objetivos de aprendizagem, diz respeito aos conteúdos epistêmicos, isto é, ligados à natureza da ciência e da atividade científica. Nas classes de ciências, os estudantes aprendem não apenas conceitos e teorias científicas mas também *sobre* ciências. Na unidade em discussão, procuramos desenvolver uma reflexão acerca do caráter das *leis científicas*: como se expressam de modo simples e se aplicam a uma variedade de situações, como se sustentam no debate científico, através do confronto entre teorias e evidências. Ambientes de aprendizagem em ciências abertos à argumentação e crítica constituem, a nosso ver, o modo como os estudantes desenvolvem uma visão menos dogmática sobre ciências, que lhes permite compreender suas teorias como interpretações de aspectos do real, no sentido de organizar o campo da experiência, expandi-la e atuar sobre ela. Outro modo de fazê-lo consiste em abordar aspectos históricos acerca do desenvolvimento científico. Na unidade, apenas uma atividade tinha esse caráter – nela, os estudantes deveriam considerar a pertinência das evidências apresentadas por Robert Mayer, em 1842, ao sustentar o princípio de conservação da energia e as razões do não-reconhecimento de seu trabalho pela comunidade científica na ocasião (MARTINS, 1984).

Do ponto de vista da estrutura, a unidade temática (ver Anexo 1) divide-se em três partes. A primeira parte envolve todo um trabalho de construção dos conceitos físicos de calor e temperatura, desenvolvidos a partir da problematização das sensações de frio e quente que se percebem pelo tato. Os textos e atividades correspondentes foram cuidadosamente selecionados de maneira a propiciar situações que orientassem os estudantes a rever suas concepções iniciais acerca dos fenômenos térmicos. Três aspectos são centrais nessa reestruturação de conceitos e noções: 1. a superação de uma lógica baseada em atributos de “calor” e “frio” em favor de um entendimento dos fenômenos térmicos como resultado da transferência de energia entre corpos a diferentes temperaturas; 2. a noção de equilíbrio térmico e as condições de sua ocorrência; 3. a diferenciação dos conceitos de calor e temperatura, o que exige a compreensão de suas relações.

Na segunda parte da Unidade, destacamos as transferências de energia entre os animais e o ambiente em que vivem. Partimos de observáveis ligados ao corpo humano, ampliando-os, sempre que possível, para outros grupos de animais. A idéia central é a do balanceamento das trocas de energia entre um organismo e o meio em que vive. De um lado, os organismos obtêm energia através do metabolismo de nutrientes e, eventualmente, das reservas de seus próprios tecidos. De outro, dissipam energia, na forma de calor, ao ambiente, realizam trabalho físico e mantêm as funções orgânicas vitais – digestão, excreção, respiração, circulação, e outras. O aspecto principal, neste caso, é o raciocínio em termos de conservação da energia, o que envolve a tomada de consciência da energia despendida na manutenção da temperatura corporal a níveis usualmente superiores à temperatura ambiente (no caso dos animais homeotermos).

Na terceira parte, abordamos os processos de regulação de temperatura corporal, que envolvem controle da quantidade de calor produzido pelo metabolismo e da quantidade de calor transferido para o meio. Especial atenção é dada aos processos de transferência de calor por condução, convecção, radiação e evaporação, no contexto das interações dos organismos com os ambientes em que vivem. Investigamos, ainda, as propriedades térmicas da água e sua importância na regulação da temperatura corporal.

Os mecanismos fisiológicos de controle de temperatura corporal e os órgãos por ele responsáveis são tratados, nesse nível, de forma apenas introdutória, buscando-se destacar a atividade do organismo, além de suas evidências externas. Não entramos em detalhes de morfologia ou fisiologia animal, que descaracterizariam a abordagem inicial e abrangente que tentamos imprimir ao tratamento da unidade. As diferenças entre animais homeo e heterotermos foram tratadas a partir da compreensão das vantagens e desvantagens comparativas entre esses dois processos de adaptação e acesso à vida. Mecanismos de adaptação biológica a ambientes adversos para os humanos são apresentados a partir de alguns “casos”.

3.3.4. Patamares Pedagógicos no Desenvolvimento dos Conteúdos da Unidade

Os patamares pedagógicos relativos ao desenvolvimento de conceitos na unidade temática foram sendo identificados à medida em 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, 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 se configura 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 comporta 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. Esses patamares, ou níveis de desenvolvimento dos conceitos (ver Anexo 4), foram sendo concebidos ao longo do planejamento do ensino. Passamos a comentá-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 reportada pela pesquisa e confirmada em nossos estudos preliminares. Suas principais características são: 1. a dicotomia entre qualidades opostas do calor, quente ou frio, e suas manifestações nos diferentes materiais; 2. a descrição dos fenômenos em termos de estados “naturais” dos objetos, segundo suas propriedades intrínsecas; 3. a não-consideração das fronteiras entre objetos, nem tampouco de um conjunto de objetos em interação; 4. a seleção das variáveis relevantes a partir das sensações ao tato; 5. a desconsideração do próprio corpo enquanto objeto em interação com outros objetos em sua vizinhança.

O segundo patamar indica progressos consideráveis em relação ao precedente, na medida em que desloca o olhar de *objetos*, suas qualidades e atributos, para *eventos*, ou seja, buscando regularidades nas transformações. Assim, as interações térmicas passam a constituir um observável e as formulações referentes ao calor mais aceitáveis do ponto de vista científico. No entanto é longo e penoso o caminho para a diferenciação entre calor e temperatura, em que subsistem ambigüidades, a nosso ver

inevitáveis, em relação ao conceito de calor, que passa a incluir as noções de energia armazenada (energia interna) e quantidade de energia em trânsito (calor). As construções nesse 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 incluem: 1. a causalidade linear, em que os eventos são segmentados e ordenados com uma causa procedendo a um dado efeito e assim sucessivamente; 2. o conhecimento circunstanciado e local, com pequena capacidade de generalização, por não considerar, de modo simultâneo e coordenado, o conjunto de fatores em jogo.

No terceiro patamar pedagógico, realiza-se uma transição inicial ao pensamento sistêmico, próprio da ciência termodinâmica. Segundo LEMEIGMAN & WEIL-BARAIIS (1994), a superação de representações centradas em objetos e eventos, em direção a representações integradas em sistemas, requer um conjunto de operações mentais, a saber: 1. a 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, que integram processos e estados; 2. a segmentação temporal dos eventos, ou estados do sistema; 3. a hierarquização dos fatores, destacando-se aqueles mais relevantes para uma primeira solução aproximada do problema. Convém acrescentar que o pensamento sistêmico envolve ainda a consciência das relações parte/todo, a consideração de fronteiras e, sobretudo, a idealização e modelização do real. Todas 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 pressuposição tácita da conservação da energia, permite novas coordenações e a compreensão de um conjunto de processos reguladores, que envolvem, simultaneamente, transferências de calor e liberação de energia por intermédio do metabolismo.

É preciso lembrar que a sistematização da realidade comporta uma modelização e idealização do real que, freqüentemente, é acompanhada por um tratamento matemático abstrato e sofisticado. O nível trans-objetal a que nos referimos comporta, portanto, apenas uma primeira e rudimentar aproximação a esse modo de pensar

largamente adotado pela ciência. Ela envolve um esforço de descontextualização, de modelização do real. Para VAN ROON e colaboradores (1994, p. 141), não se deve exigir da educação básica um tratamento aprofundado do pensamento sistêmico, uma vez que é impelida na direção oposta, mais distante do rigor da ciência acadêmica e mais próxima dos contextos da vida cotidiana.

Podemos compreender o que envolvem 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 (PLANCK, 1945).

Os três patamares da unidade constituem, em seu conjunto, um caminho progressivo, mas provisório, de desenvolvimento conceitual em direção às formulações científicas. Esse caminho é marcado pela descentração progressiva e pela objetivação dos fenômenos e processos investigados, na medida em 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 num 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.

3.4. O Planejamento do Currículo em Ação

O modelo de ensino resulta em um instrumento legítimo para o trabalho pedagógico apenas na condição de aumentar a capacidade do professor em refletir sobre suas práticas, ajudando-o a discriminar processos e orientar tomadas de decisão. Por isso, nesta seção, vamos situar o planejamento do ensino no bojo das ações envolvidas em sua implementação prática. Dessa forma, será possível não apenas descrever e

justificar as atividades realizadas, como parte de uma estratégia de ensino previamente elaborada, mas ainda situar decisões tomadas pelos professores no sentido de promover mudanças na condução do trabalho em função das demandas e problemas que foram sendo identificados junto aos estudantes.

Esta seção desenvolve-se em três momentos: no primeiro, descrevemos as circunstâncias em que se deu o trabalho, indicando seu contexto institucional e interpessoal; no segundo, justificamos as principais atividades realizadas ao longo do curso; finalmente, no terceiro, indicamos como a direção, o ritmo e a forma das intervenções pedagógicas foram sendo repensadas em função de uma avaliação das características específicas do contexto em que se efetivaram.

3.4.1. Descrevendo o Contexto e seus Atores: Escola, Professores e Alunos

O estudo foi desenvolvido junto a uma turma do último ano do quarto ciclo⁸ da Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG, nos meses de junho e agosto de 1999. No ano anterior, o mesmo trabalho fora realizado com outra turma, em um estudo piloto, destinado a refinar os instrumentos de análise.

O Centro Pedagógico é uma escola que, localizada no interior do campus universitário da UFMG, conta com amplo espaço físico – possui uma boa biblioteca, um pequeno laboratório e salas com ambiente adequado para cada uma das disciplinas do currículo. As aulas de ciências ocorrem no próprio laboratório, ou em uma sala que se comunica diretamente com ele. O equipamento do laboratório, embora precário, é suficiente para que se realizem atividades práticas com uma frequência muito superior ao convencional. Seu mobiliário consiste em oito mesas circulares, cada uma delas dispendo de uma pequena pia e tomada. As turmas são pouco numerosas, constituídas de pouco mais de trinta alunos cada uma, o que favorece dinâmicas de trabalho que privilegiam a atividade dos estudantes como estratégia de construção de conhecimento.

Essa escola organiza-se em várias instâncias deliberativas e consultivas e, a partir delas, desenvolve seu projeto pedagógico e sua gestão administrativa. Os

⁸ Essa escola adotou o sistema de ciclos de formação, cada um deles correspondendo a dois anos letivos, contados a partir do ingresso do estudante no Ensino Fundamental. Desse modo, o último ano do 4º ciclo corresponde à 8ª série do Ensino Fundamental. Tal mudança organizacional implica desdobramentos importantes na condução do trabalho pedagógico, no que diz respeito não apenas à avaliação da aprendizagem mas também ao modo de conceber e organizar o currículo.

professores organizam seu trabalho nos núcleos, por disciplina, e em cada um dos ciclos, em reuniões semanais ordinárias. Paralelamente, são freqüentes as reuniões e assembléias com pais e alunos, assim como palestras e seminários de estudo, em que se debatem ações, ligadas ao cotidiano da instituição e à organização do trabalho pedagógico.

Em função de seu projeto pedagógico, a Escola tem desenvolvido, coletivamente, ações relativas à avaliação de aprendizagem. Aos professores compete observar, registrar e comunicar todos os aspectos ligados ao desenvolvimento dos estudantes quanto a conhecimentos, procedimentos e habilidades, valores e atitudes. Cada ciclo tem produzido seus instrumentos para registro e acompanhamento da avaliação. Além disso, o referido projeto procura pôr em sintonia o trabalho desenvolvido ao longo dos quatro ciclos regulares, assim como, também, as contribuições das várias áreas de conhecimento no interior de cada ciclo (Centro Pedagógico da UFMG, 1996). Vários projetos coletivos têm sido desenvolvidos por segmentos da Escola.

O corpo docente efetivo do Centro Pedagógico é altamente qualificado e experiente. No momento em que o estudo foi realizado, o núcleo de ciências era composto por oito professoras, sendo cinco efetivas e três substitutas. Das cinco professoras, quatro possuíam o título de Mestre, estando uma em curso de doutorado. Entretanto, dado o grande número de aposentadorias ocorridas nos últimos anos, que implicaram vagas não repostas pela Universidade, o número de professores substitutos é muito elevado em todos os setores da Escola. As condições de trabalho destes professores fazem com que seja grande a rotatividade deles e pequena sua participação na gestão do projeto pedagógico da Escola. As turmas com que trabalhamos tiveram aulas com professores substitutos durante os dois anos que compõem o 3º ciclo⁹. As mudanças freqüentes de professores e as vagas não preenchidas durante meses a fio fizeram com que esses estudantes tivessem sua trajetória escolar comprometida, tanto em termos de conteúdos quanto em termos de habilidades e atitudes frente às ciências naturais e ao seu estudo.

⁹ Correspondentes à 5ª e 6ª séries do Ensino Fundamental.

No desenvolvimento desta pesquisa, contei com a valiosa colaboração da professora Selma A. Moura Braga, co-autora dos textos utilizados e da construção curricular de que a unidade em estudo fazia parte. Além de possuir uma larga e diversificada experiência no ensino de ciências, ela é pesquisadora, tendo realizado mestrado e estando, na ocasião, cursando Doutorado em Educação em Ciências. Assumindo uma postura investigativa em face 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, em que se inclui aspectos de conhecimento químico e físico, tomados como objeto de estudo.

Merece destaque o papel do pesquisador na condução dos trabalhos em sala de aula. No estudo piloto, atuamos, Selma e eu, como professores, de modo alternado. No ano seguinte, estive, a princípio, mais distanciado, mas acabei assumindo, em algumas ocasiões, a condução dos trabalhos. Assim, atuando como pesquisador, acabei sendo também uma espécie de professor auxiliar. Essa condição possibilitou-me uma maior aproximação com os estudantes e professora, na medida em que me tornei co-responsável pelo desenvolvimento do trabalho e não apenas um observador e avaliador externo.

No planejamento do curso, do mesmo modo, atuamos como parceiros, embora Selma tenha tido uma participação menor na elaboração da unidade temática em pauta, em sua primeira versão, à época do “Projeto Piloto de Inovações Curriculares e Capacitação de Professores do Ensino Fundamental da Rede Estadual de Ensino de Minas Gerais” (Pró-Fundamental). A equipe de consultores desse projeto dividia-se em dois grupos, cada um deles responsável pela produção de uma versão preliminar de uma unidade, que era revista pelo outro grupo. Isso permitia a produção simultânea de duas unidades pela mesma equipe, para atender ao calendário proposto pela SEE/MG. Assim, a unidade “Regulação Térmica nos Seres Vivos”, na sua versão original, foi produzida, inicialmente, pelos professores Helder de Figueiredo e Paula, Carmen Maria De Caro Martins e Orlando Aguiar Jr., e revista a partir de comentários, críticas e sugestões das professoras Selma A. Moura Braga, Maria Emília C. Castro Lima e Nilma

Soares da Silva¹⁰. Foi muito significativa a participação e o envolvimento de Selma na elaboração dessa unidade, pela sugestão de textos que foram decisivos no tratamento das questões relativas a aspectos da fisiologia animal. Essa primeira versão, que teve como contexto a discussão de inovações curriculares junto a professores de ciências da Rede Estadual de Ensino de MG, sofreu várias alterações ao longo do trabalho desenvolvido com os alunos do Centro Pedagógico, tanto na turma piloto quanto na que deu origem a esta pesquisa. Voltaremos a discutir, mais adiante, quais foram os pontos que deram lugar a modificações e por que razões julgamos necessário fazê-las.

A avaliação da aprendizagem e a construção dos instrumentos utilizados foi, também, decidida conjuntamente. Selma, que trabalhava com a turma pelo segundo ano consecutivo, tinha uma boa avaliação das particularidades e características de cada um dos estudantes que a compunham, da dinâmica das relações entre eles e do comportamento geral do grupo. Produzimos e discutimos, juntos, as questões a serem utilizadas nos testes, assim como o roteiro geral das entrevistas. Coube a mim a correção desses testes, mas só o fiz com base em critérios definidos juntamente com ela.

Ao longo do curso, do mesmo modo, discutíamos aspectos ligados às intervenções didáticas no que se refere tanto ao tratamento e correção dos conteúdos quanto aos aspectos relacionados à dinâmica das interações, objetivando favorecer a atividade e o progresso das formas de compreensão dos estudantes. Aprendemos muito juntos, não apenas pelo caráter fortemente interdisciplinar da temática, mas especialmente na apreciação dos estilos e formas de abordagem de cada um. De minha parte, destaco, sobretudo, a competência dialógica da professora, sempre pronta a ouvir e a considerar o ponto de vista dos estudantes. Os impasses e conflitos – Que fazer com os alunos que não têm demonstrado qualquer empenho na aprendizagem?; Como motivá-los e aumentar sua participação nas atividades?; Como lidar com a indiferenciação entre calor e temperatura?; Que nível de abordagem seria adequado às demandas de um grupo tão heterogêneo? – foram, também, fundamentais para reforçar esse aprendizado profissional conjunto, conduzido com muito respeito profissional e uma forte amizade.

¹⁰ Na unidade “O Caminho do Sanduíche”, que trata de aspectos ligados à digestão, os papéis se inverteram – Selma, Maria Emília e Nilma produziram a primeira versão da unidade, que foi revista a partir da leitura realizada por mim,, Carmen e Helder.

Os alunos das duas turmas com que trabalhamos caracterizam-se por grande heterogeneidade do ponto de vista econômico e sociocultural. Além disso, eram notórias as discrepâncias entre as habilidades e interesses desses jovens em relação aos conteúdos escolares e às ciências naturais. Quanto à idade, os dois grupos eram homogêneos: apenas cinco alunos da turma do estudo piloto e uma aluna da turma do ano seguinte estavam fora de faixa etária definidas para a série que cursavam. Essas referências às características da turma do estudo piloto são relevantes aos propósitos deste trabalho, na medida em que parte das decisões tomadas no ano seguinte se basearam nos resultados e problemas nela identificados.

A primeira turma, do estudo piloto, tinha um comportamento coletivo bastante peculiar. Os estudantes, tanto meninos como meninas, pareciam ter fortes vínculos afetivos e preferiam variar a composição dos grupos de trabalho ao longo das aulas. Eram alegres, faziam brincadeiras e pareciam sempre muito ativos, o que aumentava o cuidado dos professores para manter a concentração do grupo. O nível de envolvimento na realização das atividades era, porém, muito diferente entre eles. Vários alunos apresentavam um ótimo nível de elaboração de idéias e grande abertura para reconsiderar pontos de vista diante de argumentação racional com colegas ou professores. Outros comunicavam-se pouco, não manifestavam suas dúvidas, ficavam dispersos na realização das atividades em grupo e, sobretudo, nas discussões com toda a turma. Julgavam o conteúdo fácil e não tinham consciência de suas próprias dificuldades. O resultado final do trabalho revelou uma enorme discrepância entre um grupo de alunos com ótimo desempenho e outro que pareceu permanecer praticamente no mesmo nível em que se iniciou o curso. Os estudantes com ótimo desempenho – cerca de 40% do grupo – fizeram uma avaliação extremamente positiva da proposta do curso e mantiveram um clima amistoso e agradável na sala de aula. Por sua vez, os estudantes com desempenho fraco – 30% do total –, incapazes de localizar as razões dos problemas, não manifestaram qualquer resistência, mas apenas desinteresse e dispersão. O restante da turma progrediu em alguns aspectos, mas sem o entusiasmo e eficiência dos primeiros.

A turma do ano seguinte tinha um comportamento grupal bastante diferente, embora apresentasse a mesma heterogeneidade de habilidades e interesses em relação às ciências naturais. Os grupos formados eram muito fechados, cada um deles com lideranças fortemente caracterizadas e impermeáveis aos demais. Já nas primeiras aulas,

notei uma apatia surpreendente em alguns grupos, mas a professora considerou inadequado intervir modificando a composição de seus membros, dada a animosidade entre alguns deles. Nessa turma, o problema não era a dispersão de interesses, mas a apatia e passividade da maior parte dos estudantes.

Na seqüência, apresentaremos as atividades realizadas com os alunos desta turma, justificando as intenções de cada uma delas em termos do planejamento proposto. Em seguida, comentamos as mudanças realizadas na proposta original e na condução dos trabalhos, em função dos problemas que foram sendo identificados.

3.4.2. 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, em que os estudantes se debruçavam na interpretação de um fenômeno, mediante 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 de contextualizar o problema no marco das investigações da unidade. Muitas vezes, combinávamos atividades e leituras de pequenos textos. Outras, ainda, as atividades experimentais eram realizadas pela professora e discutidas 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 com seus pares e 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 resistências, 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.

Apresentamos, no Anexo 5, um quadro sintético do conteúdo das aulas, seus objetivos, a estrutura da atividade, algumas observações e considerações acerca de sua efetividade. Parece-nos necessário destacar, para além dessa descrição sintética e contextualizada, os pontos básicos sobre os quais se assentou o planejamento do curso, em sua última versão e indicar algumas das estratégias que lançamos mão para promover a aprendizagem na direção apontada pelos níveis de abordagem de conteúdos da unidade (ver Anexo 4). Entendemos que, ao conceber recursos pedagógicos destinados a favorecer o desenvolvimento dos estudantes, seja necessário, também, destacar os recursos cognitivos a que eles devem recorrer para progredir na direção desejada, assim como definir as atividades e o tipo de auxílio necessário para promover e otimizar a elaboração dessas representações (LEMEIGMAN & WEIL-BARAI, 1994).

Ao planejar as atividades do curso, procuramos reconhecer elementos de continuidades e rupturas, ou seja, obstáculos e ressonâncias entre as representações próprias dos estudantes e as características dos conceitos científicos que pretendíamos desenvolver. Nossa intenção foi expandir ao máximo as potencialidades do pensamento espontâneo dos estudantes, considerando a heurística positiva de suas representações e, ao mesmo tempo, identificando e destacando os obstáculos que o imobilizam. A seleção dos objetivos de nossas intervenções didáticas, como recomendam MARTINAND (1995) e ASTOLFI & PETERFALVI (1993), foi feita a partir da caracterização desses obstáculos, de um modo que tornasse possível sua ultrapassagem. Procuramos fazê-lo pela mediação de algumas “boas intuições”, que funcionam como âncoras para aprendizagem significativa de conceitos científicos (CLEMENT et al., 1989) e, paralelamente, pela introdução de hipóteses ou explicações alternativas que pudessem ser examinadas e apreciadas pelos alunos em uma variedade de situações (ROWELL & DAWSON, 1985).

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 de coluna de 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 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 considerar frio e quente enquanto qualidades opostas do calor.

Após realizado o trabalho em pequenos grupos, procurávamos, sempre, promover discussões com toda a classe, em que 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, a 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 certas noções intuitivas dos estudantes. 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, 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 o sistema isolado corresponde, de modo aproximado, a algumas situações reais, mas não a todas elas. Neste 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 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 análise dessas dificuldades operatórias¹¹ e a questão da legitimidade do recurso a situações idealizadas como estratégia válida para compreender o real permitem reconhecer as razões das dificuldades dos estudantes em assimilar o não-equilíbrio térmico como resultante dos fluxos de energia no sistema. Devemos notar que essa discussão é central no contexto de investigação da unidade, ou seja, para compreender a manutenção da temperatura corporal constante e em níveis usualmente mais elevados do que a temperatura ambiente.

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 vizinhança¹². 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.

¹¹ Não devemos minimizar as dificuldades operatórias dos estudantes, pois as investigações desenvolvidas por INHELDER & PIAGET (1976) os levaram a concluir que a inversão das relações entre possível, real e necessário era o elemento distintivo e fundamental do pensamento lógico formal, ou hipotético dedutivo. Analisei a importância dessa inversão na aprendizagem em ciências em minha dissertação de Mestrado (AGUIAR JR., 1995).

¹² Essa atividade foi, inicialmente, concebida por Helder F. 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.

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 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 ser, como a de calor, igualmente imprecisa. É bastante freqüente, 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, variações de temperatura, tal raciocínio favorece a construção dos conceitos básicos da física térmica. No escopo da termodinâmica, essa “causalidade eficiente” foi abandonada. Considera-se que o primeiro e o segundo princípios não são mais do 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 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 reconhecem 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, posto que o material volta ao seu “estado natural” (ARNOLD & MILLAR, 1994). Além disso, a compreensão dos fluxos de energia depende, em grande medida, 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? ¹³ 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 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.

Outro tópico intimamente relacionado ao conceito de calor é sua consideração mais ampla em termos de transferências de energia. Consideramos normal, nesse nível de ensino, a ambigüidade da concepção de calor como “forma de energia” ou como “processo de transferência de energia”. A identificação do calor com processos energéticos decorre da observação de que sua produção é sempre acompanhada pela diminuição de outra manifestação de energia. Desse modo, procuramos destacar os efeitos térmicos enquanto uma das manifestações da energia.

¹³ 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.

Mais uma vez, no desenvolvimento da pesquisa, procuramos nos valer de certos aspectos das representações iniciais dos estudantes que pudessem redundar em progresso em direção a uma conceituação científica. Vários autores (LIJNSE, 1990, DUIT & HAUESSLER, 1994; HENRIQUES, 1996) destacam a tendência de se considerar a energia como um agente causal armazenado em determinados objetos. Assim, apenas as coisas que contêm energia em si mesmas seriam capazes de fazer acontecer os fenômenos, ou transformações. Essa representação, incorreta do ponto de vista científico, fornece uma base de entendimento para as questões propostas pela unidade. Procuramos, então, partir dessa idéia, fortemente intra-objetal – energia como propriedade de objetos –, e evoluir em direção à tomada de consciência dos processos e transformações que acompanham todas as manifestações de energia.

Um outro aspecto, estreitamente associado ao anterior, consiste em supor a energia como um tipo de combustível. Na verdade, não há incompatibilidade entre essa noção e o conceito científico, desde que ela se faça acompanhar pela idéia de conservação da energia “armazenada” no combustível após sua “queima”. Nesse caso, é importante diferenciar e conciliar a não-conservação do combustível e a conservação da energia total de um sistema. Embora a matéria do combustível/alimento seja, também, conservada em toda reação química, na forma de produtos da combustão/respiração, os materiais dela resultantes não são mais combustíveis/alimentos.

Nas interações com os estudantes, notamos que, em geral, eles não consideram a conservação como propriedade do conceito de energia. No contexto do estudo da unidade, o argumento conservativo envolve o reconhecimento do aquecimento do ambiente como um dos efeitos a serem considerados no balanço energético dos organismos. Segundo GAYFORD(1986) boa parte dos estudantes não considera que um processo biológico – como a respiração, por exemplo – envolva conservação de energia. Em lugar disso, pensam que o processo cria energia, que é usada nas reações subsequentes do organismo. Da mesma maneira, a idéia de degradação de energia não é, inicialmente, uma hipótese plausível para os estudantes. Se a energia, como um combustível, é usada ou perdida em lugar de conservada, não é necessário explicar para onde foi essa energia; basta pressupor que ela simplesmente desapareceu.

A opção que fizemos, então, foi a de desenvolver uma idéia unitária do conceito de energia, focalizando a energia sendo *transferida* enquanto as mudanças ocorrem e, em cada processo indagando: “*Onde está a energia transferida?*” (DRIVER et

al.,1994b). No estudo das regulações térmicas nos organismos, destacamos dois processos: a produção de energia pelo metabolismo¹⁴ e as transferências de energia na forma de calor dissipado ao meio.

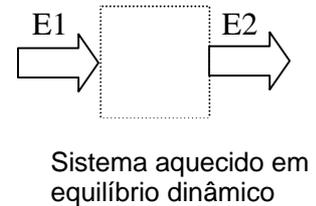
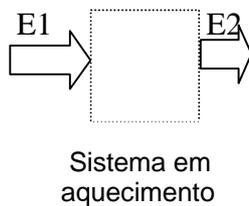
O problema da produção de energia pelos organismos foi orientado com base em um estudo das funções de nutrição, anteriormente realizado com a turma, retomando-se a análise de rótulos de alimentos e evidências de transformações na queima de um grão de amendoim. A partir dessas atividades, procuramos recompor a “estória” das transformações dos alimentos no organismo. Quanto à transferência de energia para o meio, devemos reconhecer no vitalismo um de seus principais obstáculos. Na medida em que se concebe a energia como um atributo dos seres, ligado à vitalidade, ao esforço e à atividade física, não se admira que sejam frequentemente desprezadas as transferências de energia por meio do calor dissipado. Um 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 temperatura da pele 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 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*

¹⁴ A expressão “produção de energia” é problemática quando se considera o Princípio de Conservação, a menos que se entenda essa “produção” como uma liberação de alguma forma de energia antes potencialmente existente no sistema. Apesar dessa ambigüidade, preferimos utilizar a expressão, dada sua ampla utilização na análise de problemas de política energética e ambiental. Portanto, em lugar de evitar seu uso, procuramos conferir-lhe uma nova significação, a partir de uma perspectiva científica.

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 considerar, 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 energia 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 à uma taxa constante, dependendo não só do fornecimento de oxigênio e nutrientes às células, ma 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 homeotermos 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.

Concluindo, convém observar que a seqüência didática do curso não guarda uma correspondência linear com os patamares pedagógicos de construção de conceitos. Embora a seqüência de aspectos intra, inter e trans-objetais tenha servido de fio condutor à construção de conceitos ao longo do curso, não foram considerados enquanto sucessão rígida em que os elementos trans-objetais só pudessem ser introduzidos depois de exploradas e esgotadas todas as composições inter-objetais. Assim, por exemplo, a primeira parte do curso – bloco de atividades que denominamos “As sensações de frio e

quente e os conceitos físicos de calor e temperatura” – consistiu no desenvolvimento de conceitos térmicos elementares, apontando para a transição do primeiro para o segundo patamar de entendimento (ver Anexo 4). No entanto, a exploração dos processos de transferência de calor, relativa ao segundo patamar pedagógico, foi precedida por discussões a respeito das transferências de energia organismo/meio, que apontam para um olhar sistêmico, trans-objetal.

A opção por essa ordem de desenvolvimento das atividades do curso resultou de razões que extrapolam as análises epistemológicas dos conteúdos do ensino, embora estas tenham sido levadas em consideração. Em primeiro lugar, nas tentativas iniciais de produção da unidade, julgamos inadequado apresentar todos os aspectos físicos do problema – conceitos elementares de calor, temperatura e equilíbrio térmico; processos de transferência de calor; propriedades térmicas dos materiais – para, então, “aplicá-los” ao contexto biológico – organismos homo e heterotermos, processos de regulação de temperatura e balanço energético dos organismos. Em lugar disso, desde as primeiras atividades até o final do curso, os conceitos foram sendo apresentados e desenvolvidos em função de um contexto de investigação definido pelo tema da regulação térmica nos organismos, mesclando argumentos físicos e biológicos. Além disso, entendemos que as discussões relativas às “Transferências de energia entre seres vivos e o ambiente”, apresentadas no segundo bloco de atividades da unidade, permitiam uma visão geral dos problemas e de seu tratamento no marco de um conjunto de hipóteses mais amplo, que seria, então, retomado ao longo de toda a terceira parte do curso, “Os processos de controle da temperatura corporal”.

3.4.3. 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, não levam 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 justificação 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 numa outra mais antiga e, conseqüentemente, uma decisão que foi tomada anteriormente servirá de jurisprudência para analisar a nova situação que possui características semelhantes¹⁵. 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

¹⁵ 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.

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.

Já no primeiro curso, realizado com o objetivo de propiciar dados para um estudo piloto, fomos levados a rever vários aspectos das atividades e estratégias de ensino inicialmente previstas. Os estudantes dessa primeira turma engajaram-se com entusiasmo na realização do pré-teste e nas discussões e atividades subsequentes. Nessa ocasião, tivemos a oportunidade de ampliar nossas referências quanto às formas de pensamento dos estudantes sobre o problema das regulações térmicas. De um lado, suas produções confirmavam nossas hipóteses acerca da ausência de generalidade do conceito de calor como agente causal dos fenômenos térmicos, assim como, também, sobre a dicotomia entre qualidades opostas do calor, decorrentes das sensações que provocam, consideradas como evidentes manifestações de estados dos materiais. Entretanto causou-nos alguma surpresa as hipóteses formuladas ao explicar a manutenção da temperatura corporal. Vários deles pensavam que a temperatura do corpo era mantida graças à circulação do sangue. Com o decorrer das aulas, fomos notando que os entendimentos a respeito da relação entre aquecimento corporal e circulação sanguínea eram diversos: para uns, o sangue, por natureza quente, aquecia o corpo; para outros, o sangue transportava o calor obtido dos alimentos na digestão e, assim, aqueciam as extremidades do organismo; outros, ainda, referiam-se a um processo de aquecimento provocado pela passagem do sangue pelas veias, artérias e coração. Estes últimos sustentavam seu argumento explicando que, quando um indivíduo pratica esportes, seu sangue circula mais rápido, e essa seria a causa do calor que se sente nessas condições. Em suas primeiras produções, eles não eram, ainda, capazes de atentar para o duplo papel do sangue: o de transportar nutrientes e oxigênio para a respiração celular; e, ao mesmo tempo, o de tomar parte nos fluxos de calor entre diferentes partes do organismo.

Na turma do estudo piloto, tivemos o cuidado de destacar esses elementos presentes no discurso dos estudantes, provocando a explicitação dos argumentos e a análise de sua pertinência. No ano seguinte, introduzimos outras modificações, dando maior destaque à revisão de aspectos das regulações térmicas relacionados às funções de nutrição, que haviam sido objeto de estudo anterior por parte dessa mesma turma. Os elementos que permitiriam uma continuidade desse estudo anterior e as novas questões colocadas foram propostos pela professora e consistiram na formulação de atividades – análise de rótulos de alimentos; discussão a propósito do aquecimento de um tubo de ensaio contendo água a partir da queima de um grão de amendoim. A partir dessas atividades, foi então possível tratar de novos aspectos e informações relativos à obtenção de energia pelo organismo, tais como: 1. o significado do “conteúdo energético dos alimentos”; 2. a unidade de medida utilizada; 3. a forma como são obtidos esses dados; 4. as semelhanças e as diferenças entre a queima do amendoim e as transformações que ocorrem com seus nutrientes no interior do corpo humano.

Dessa forma, buscávamos considerar as lacunas existentes nas formas de conhecimento dos estudantes, e fornecer-lhes informações adicionais que se fizessem necessárias. Especial atenção foi dada à indiferenciação entre transformações nos materiais e transformações de energia e, ainda, às relações hierárquicas entre organismo, sistemas, órgãos, tecidos e células. Para isso, partíamos da proposição de questões, tais como: *Quais são os nutrientes que fornecem energia ao organismo? Em que partes do corpo ocorre a produção de energia? O que acontece com a glicose? Quais são os produtos dessa transformação? Energia, glicose, oxigênio, gás carbônico e água são coisas da mesma natureza? Como a circulação sanguínea participa dos processos de produção de energia nos organismos?*

Outro aspecto do curso inicialmente concebido que foi modificado a partir do estudo piloto consistiu em antecipar uma parte das atividades relacionadas à calorimetria. Na primeira versão da unidade, essas atividades, que faziam parte do terceiro bloco do curso, passaram a ser realizados ao final da primeira parte, como resposta às discussões sobre as diferenças entre calor e temperatura¹⁶. Na turma em que realizamos o estudo piloto, os estudantes defendiam diferentes hipóteses sobre o que fazia variar a temperatura de corpos colocados em contato. Nas discussões a esse

¹⁶ Ver a Atividade I.6 e a Leitura 5 da unidade temática, reproduzida no Anexo 1. Esta é a versão modificada do texto do aluno, utilizada com a turma de 1999.

respeito, tornava-se clara a importância de se aprofundar o entendimento dos conceitos de calor e temperatura, a fim de se estabelecerem diferenças e relações entre eles.

Numa primeira atividade, o grupo procurava explicar as diferentes sensações provocadas, ao tato, por uma porção de água de torneira, após terem mergulhado uma das mãos em água quente e a outra em água gelada. Enquanto uma aluna (A1) dizia que *“houve uma difusão - a temperatura da água passa pra mão e a da mão passa pra água”*, outro (A2) discordava afirmando que *“um troca calor com o outro. Esse calor vai esquentar o gelo[água gelada] e aí vai chegar num ponto que vai igualar essas duas temperaturas e não vai transferir frio nem calor”*. Além da contraposição entre qualidades de calor, frio ou quente, havia uma clara necessidade de compreender o sentido das palavras “calor” e “temperatura”, o que foi explicitado, na sequência, por vários deles: *“mas, então, se falar transferência de calor e transferência de temperatura é a mesma coisa?”* (A1); *“a temperatura é feita de calor”*(A3); *“temperatura é a medida do calor”* (A2); *“o calor é a sensação que tá acontecendo e a temperatura é a medida do calor”* (A1). Essa mesma discussão foi retomada, várias vezes, pelo grupo nas aulas seguintes, o que evidenciou a necessidade de adequar a sequência das atividades previstas para o curso.

Em outros momentos, as dificuldades demonstradas pelos estudantes na realização de algumas atividades, levaram-nos a modificar o modo como estas eram apresentadas. Em trabalho anterior, em que foram analisadas experiências didáticas com a introdução à física térmica no ensino fundamental (AGUIAR JR., 1999a¹⁷), havíamos constatado que as explicações dadas às diferentes sensações provenientes de materiais em equilíbrio térmico envolvia 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

¹⁷ O artigo, publicado em 1999, refere-se a experiências didáticas realizadas em 1997 na Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG.

pelos grupos, os estudantes deveriam relatar suas conclusões, buscando estabelecer um entendimento comum 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, ou seja, por que diferentes materiais, num mesmo ambiente, provocam diferentes sensações térmicas ao serem tocados, apesar de estarem a uma mesma temperatura. Num 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:

Dan: (virando-se para o grupo) Se o alumínio é bom condutor de calor, por que que quando a gente pega, ele esfria?
Leo: Porque a temperatura do ambiente tá 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 todo metal, é condutor. Isso significa que o calor 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 ao 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. Porque você vai estar passando mais calor do que pra 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 tá 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 – atividades I.7 e II.3 (ver Anexo 1). 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. A solução 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 do que ao ar. Tal diferença explica-se pelas diferentes 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 –, 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 do 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 como um todo à proposta do curso, observamos que isso se devia à intensa participação de algumas de suas lideranças. Uma porção considerável de estudantes, porém, 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 em 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 mais 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 do curso, gerou insatisfações, sobretudo nos 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 lembrar 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 manifestassem 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 trabalho.

Quanto ao ritmo dos trabalhos, julgamos que a lentidão na condução das atividades era, em parte, decorrente da apatia do grupo¹⁸. 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.

A principal iniciativa no sentido de contornar esta indiferença consistiu em marcar para os estudantes com desempenho mais fraco no primeiro teste escrito uma aula extra compulsória¹⁹. 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 min, 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

¹⁸ Embora houvésssemos 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 min.

¹⁹ 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.

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 que pudesse ajudá-los a estudar em casa, embora não demonstrassem possuir 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 (ver Anexo 6). 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. A 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 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 destes 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 na interpretação da temperatura como medida da 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, posto 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”. Gostaria de ter definições mais claras, mais exercícios e menor preocupação dos professores com relação às idéias dos alunos.

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 frequência, comportamentos ambíguos a esse respeito. Afirmam gostar de aulas dinâmicas mas, às vezes, assumem uma postura mais passiva em sala de aula. O ensino transmissivo, na medida em que solicita menor compromisso e esforço por parte dos estudantes, apresenta-se, muitas vezes, como atrativo, sobretudo quando estes se sentem inseguros e com dificuldades na 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, ela 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, em que 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, em situação de 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 num 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 de que fazem parte. A firmeza é uma das exigências do ofício de educar.

Capítulo 4 - Avaliação da Aprendizagem: Instrumentos para Levantamento e Análise de Dados

Uma das principais habilidades didáticas do professor consiste em saber avaliar indicadores de aprendizagem dos estudantes, reconhecendo e qualificando os progressos, bem como examinando as dificuldades e obstáculos à construção de representações que se aproximem do conhecimento científico estabelecido. Para tanto, é preciso contar com uma análise dos conteúdos do conhecimento prévio dos estudantes, dos saberes disciplinares de referência e das metas de aprendizagem estabelecidas pelo planejamento do curso, reexaminadas ao longo de seu desenvolvimento (VILLANI & PACCA, 1997). O modelo didático pretende ser um instrumento teórico auxiliar à análise epistemológica dos conteúdos do ensino e de suas repercussões nos processos de aprendizagem. Assim sendo, ele deve auxiliar a formulação de instrumentos de avaliação e, sobretudo, fornecer indicadores que permitam analisar seus resultados e desdobramentos.

Neste capítulo, iremos desenvolver a metodologia de coleta e análise de dados, apresentando e justificando os instrumentos de avaliação, bem como analisando sua adequação aos propósitos da pesquisa. Em seguida, apresentaremos, como indicadores de aprendizagem, níveis e subníveis de entendimento, formulados a partir das categorias que nortearam o planejamento da unidade. Tais categorias são exemplificadas com produções dos estudantes nos contextos de avaliação do curso.

4.1. Considerações Metodológicas: Coleta e Análise de Dados

Esta pesquisa pretende constituir-se em um diálogo aberto e contínuo entre dois sistemas, relativamente autônomos, de pensamento: o sistema-professor e o sistema-aluno. Na verdade, essa é uma simplificação, na medida em que as relações pedagógicas são constituídas por interações múltiplas de um conjunto de sujeitos educandos entre si e com um educador, mediadas por objetos de conhecimento. Ao destacarmos esses dois elementos, professor e aluno, enquanto sistemas, e ao postular sua autonomia, pretendemos enfatizar o fato de que ambos operam com lógicas distintas, com intenções e finalidades próprias, nutrindo expectativas mútuas acerca das ações do outro, suas possibilidades, deveres e direitos. Cada um desses sujeitos, cumprindo papéis sociais determinados, constitui estruturas, ou seja, totalidades organizadas – nesse sentido,

fechadas –, mas que se alimentam e se renovam incessantemente em suas aberturas e trocas com o meio físico e social.

É preciso, portanto, em princípio, reconhecer a complexidade de toda tentativa de apreender como os sistemas-alunos operam e se desenvolvem no curso das interações em sala de aula. A primeira dificuldade reside em seu modo de funcionar implícito, isto é, o não-reconhecimento, por parte do sistema-aluno, de seus conhecimentos e de sua condição de sujeito autônomo. O segundo problema está relacionado à acessibilidade a esse sistema de conhecimentos. De fato, o conteúdo das representações dos estudantes pode ser reconhecido apenas enquanto está em ação – portanto, em transformação – e sob influência direta ou indireta dos instrumentos de pesquisa, do contexto de produção, das intenções do “outro” e das expectativas mútuas que nutrem acerca daquilo que lhes é solicitado.

Assim sendo, nossa primeira preocupação metodológica consistiu em criar instrumentos de análise compatíveis com a teoria que dirige nossas observações, explicitando-a. O sistema-aluno não é transparente, e os observáveis de seus estados e transformações são decorrentes do modo como o interpretamos, como nos aproximamos dele e o interrogamos. Nesta pesquisa, procuramos observar os deslocamentos dos modos de entendimento dos estudantes sobre uma classe particular de fenômenos térmicos, e identificar olhares dirigidos a “objetos”, “eventos” e “sistemas”. A teoria piagetiana foi, nesse sentido, a matriz teórica principal, mas não exclusiva, para a construção de instrumentos de coleta de dados e sua análise. Partimos da premissa de que as idéias dos estudantes são estruturadas e evoluem ao longo das interações, o que nos conduz a considerar suas produções em conjunto, buscando compor padrões coerentes e consistentes, segundo sua própria lógica e não subordinadas à lógica do pensamento científico. Segundo LIJNSE (1995, p. 193) “*não devemos interpretar as falas dos alunos no nível ‘atômico’ e, sim, tentar encontrar um padrão coerente e inteligente no maior número possível de enunciados*” Por outro lado, ao buscar sistemas coerentes, não se pode ignorar compromissos ambíguos e tensões, bem como a multiplicidade das representações dos estudantes.

Não temos a pretensão de isenção na análise dos dados, e temos clareza de que, ao lidar com pesquisa empírica, não esgotamos a riqueza e o caráter multifacetado de nosso objeto de estudo, qual seja, o desenvolvimento dos significados em situações de aprendizagem escolar em ciências. Apenas escolhemos um dado recorte, comprometido

teoricamente, e procuramos investigar sua potencialidade e alcance como instrumento para uma prática de ensino ancorada em uma sólida base epistemológica e psicológica.

Outra preocupação foi a de explicitar os contextos de produção dos estudantes que compuseram a base de dados. Compartilhamos a visão de autores que, como WELZEL & WOLFF (1998, p. 26), têm ressaltado que “*o desempenho dos alunos é mediado pela influência recíproca de múltiplos aspectos da situação de avaliação, incluindo a interação entre pares e com a natureza da tarefa – por exemplo, problemas verbais versus problemas práticos.*”

A validação e a confiabilidade dos dados foram outras preocupações metodológicas relevantes em sua análise. Até que ponto as manifestações e produções dos estudantes em testes escritos, que compõem instrumentos de avaliação da aprendizagem, ou mesmo em entrevistas realizadas em contexto muito próximo ao da sala de aula refletem, de fato, as crenças dos estudantes? Não seriam elas manifestações de conteúdos identificados pelos estudantes como mais convenientes para serem ditos num dado contexto de interação? Não temos respostas diretas para tais perguntas. Em cada caso, isso deve ser posto em questão e toda resposta será apenas uma hipótese, uma interpretação, cuja plausibilidade deve ser buscada pelo cruzamento de informações e dados. Nesse sentido, a dúvida qualifica os dados e reconhece a complexidade de sua análise, o que não deve autorizar uma postura descritiva e contemplativa, mas, ao contrário, deve renovar as múltiplas interpretações possíveis dos dados disponíveis.

Esse é o preço que temos a pagar ao aproximar a pesquisa do contexto da sala de aula. Quanto mais os instrumentos de pesquisa se aproximam dos instrumentos de avaliação adotados em situações de ensino e aprendizagem, maiores são os possíveis “ruídos” decorrentes das expectativas e intenções dos estudantes em relação ao seu desempenho escolar. Essa aproximação é intencional e essencialmente vinculada ao objeto desta pesquisa, qual seja, a elaboração de instrumentos auxiliares para o reconhecimento, em situações de ensino aprendizagem em ciências, dos padrões e estruturas de pensamento dos estudantes e sua evolução ao longo das interações em sala de aula.

Alguns autores afirmam “*ser inadequado interpretar os dados do aluno com base no conteúdo do ensino cujas concepções se deseja atingir*” (MARÍN et al., 1997,

p.220) o que levaria a tomar como referência não aquilo que os estudantes dizem, mas o que eles não dizem na perspectiva da ciência. Por outro lado, no âmbito desta pesquisa, o interesse pelas representações dos estudantes decorre de um compromisso com o ensino e com os processos educativos em geral. Assim, o afastamento metodológico necessário à identificação das estruturas de pensamento dos estudantes deve-se fazer mediante o contraste e a comparação com formas de pensamento consagradas pela ciência e, sobretudo, guiadas por intenções didáticas de favorecer a construção de representações pessoais sobre a ciência tão próximas quanto possível de seus conteúdos. As pesquisas de CAFAGNE (1996) e VAN ROON et al. (1994) são exemplares nesse sentido e servem de referencial básico para análise dos dados deste estudo.

Finalmente, em nossas análises, utilizamos categorias genéricas, abstratas e que compõem um referencial sem o qual seria impossível identificar e qualificar os progressos dos estudantes. Essas categorias não correspondem às representações de nenhum sujeito particular, mas são amplas e inclusivas o bastante para servirem de referencial de análise para todas essas manifestações singulares. A diversidade das formas de entendimento dos estudantes e dos processos de aprendizagem deflagrados pelo ensino solicita instrumentos flexíveis. Acreditamos que, ao destacar níveis e subníveis de entendimento e, em cada um destes, identificar aspectos intra, inter e trans-objetais, tenhamos constituído instrumentos capazes de acompanhar os progressos e obstáculos dos estudantes na construção de conceitos científicos, o que poderá ser melhor apreciado a partir do estudo dos casos de aprendizagem.

4.2. Instrumentos de Avaliação da Aprendizagem

Os instrumentos de pesquisa utilizados foram, em grande parte, aqueles normalmente adotados na avaliação da aprendizagem. Para compreendê-los é preciso, antes, descrever, mesmo que de modo abreviado, os processos avaliativos adotados pela Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG.

A questão da avaliação era, na época em que realizamos esta pesquisa, um dos aspectos centrais do projeto pedagógico da Escola, que havia implantado recentemente a organização curricular via ciclos de formação. Em função disso, os educadores da escola pretendiam organizar suas estratégias de ensino respeitando os ritmos e processos diferenciados da aprendizagem, compondo novos tempos e processos avaliativos,

visando reconhecer e incentivar os progressos dos estudantes, bem como identificar suas dificuldades e atuar no sentido de promover sua superação.

Cada ciclo do Ensino Fundamental foi composto por dois anos letivos regulares e os educadores do ciclo faziam reuniões periódicas entre eles, com representantes das turmas e com os pais, com o objetivo de forjar um projeto coletivo de intervenções didáticas e de avaliação da aprendizagem. Cada um dos professores fazia registros sistemáticos de suas observações relativas ao desenvolvimento dos estudantes – no que se referia aos conteúdos conceituais, procedurais e atitudinais – e, a partir dessas anotações, em reuniões de ciclo, eram elaborados os registros individual e coletivo dos estudantes de cada uma das turmas. A pedido dos pais, decidiu-se não abolir completamente as notas acadêmicas, pois serviam de referência para os estudantes. Optou-se, porém, por qualificá-las, isto é, apontar as dificuldades, lacunas e avanços que justificavam essa ou aquela nota atribuída ao estudante. Assim, explicitando-se os valores e critérios adotados e a subjetividade intrínseca ao processo avaliativo, o aspecto quantitativo da avaliação foi relativizado. Segundo PERRENOUD (1999a), a avaliação escolar oscila entre duas lógicas. Adotando este referencial, poderíamos dizer que, nas práticas educativas que acompanhamos no Centro Pedagógico da UFMG, a lógica normativa da excelência acadêmica se encontrava subordinada à lógica das regulações da aprendizagem, mas não foi completamente suprimida do cotidiano das relações pedagógicas.

No caso particular de ciências, compunham a avaliação os seguintes instrumentos: 1. observação diária das atividades escolares, 2. atividades extraclasse, em que se incluíam as tarefas para casa; 3. pré e pós-teste de cada tópico de conteúdo; 4. testes escritos. Além desses, utilizamos, ainda, para atender aos propósitos desta pesquisa, entrevistas individuais com alguns alunos da turma. Ao contrário dos demais instrumentos de coleta de dados, as entrevistas não faziam parte dos procedimentos avaliativos utilizados pelo ensino. A observação das atividades em sala de aula foi realizada a partir de registros dos professores e, sobretudo, de gravações das aulas em vídeo. Quanto às atividades realizadas em casa, não as utilizamos senão pontualmente, como indicadores de aprendizagem dos estudantes, visto que, em grande parte, foram respondidas a partir de trechos extraídos ou adaptados da apostila, o que tornava difícil julgar a real compreensão dos conceitos envolvidos nas sínteses de textos lidos ou, mesmo, nas respostas a questões específicas.

Os protocolos de entrevista, os instrumentos de pré e pós-teste, assim como os dois testes realizados estão em reproduzidos em anexo¹. Faremos, a seguir, uma análise de cada um desses instrumentos e de suas intenções, avaliando e justificando sua adequação aos propósitos e ao referencial teórico da pesquisa.

4.2.1. Pré e Pós-teste

A intenção do pré-teste é dupla: de um lado, permitir uma primeira aproximação e avaliação das representações de partida dos estudantes; de outro, estimular o debate e a explicitação dos argumentos e pontos de vista acerca dos problemas apresentados, o que pode promover o reconhecimento de lacunas e contradições a serem superadas. Para tanto, desenhamos um teste com as seguintes características: deveria ser amplo o bastante para estimular as produções dos alunos, mas não muito vago; não poderia ser muito longo e, finalmente, deveria auxiliar na identificação dos modos como os estudantes lidavam com os fenômenos térmicos em geral e da regulação térmica em particular.

O teste (ver Anexo 7) foi validado por uma entrevista realizada, em junho de 98, com cinco alunos de 7^a série e por sua aplicação na turma piloto, ao final do mesmo ano. A primeira versão foi julgada muito extensa. Por isso, várias questões foram suprimidas, algumas sofreram modificações e foi introduzida uma questão, a respeito das reações do corpo humano em caso de febre.

As quatro primeiras questões do pré-teste, em sua forma final, referem-se a problemas gerais que envolvem a regulação de temperatura corporal. Optamos por fazê-lo apenas em relação ao corpo humano, não incluindo outros grupos de animais, pois isso envolveria conhecimentos específicos.

A questão 1 é a mais geral de todas e busca uma explicação para a manutenção da temperatura corporal, independentemente da temperatura ambiente. Na verdade, esta questão dirigiu toda a investigação ao longo da unidade. Além de eventuais lacunas, sua análise permitiu verificar, em primeiro lugar, se os estudantes a consideravam como um problema autêntico. Foi possível, também, identificar a perspectiva a partir da qual os estudantes procuravam respondê-la. De um ponto de vista centrado nas qualidades dos

¹ Anexo 7: Pré e Pós Teste; Anexo 8: Teste 1; Anexo 9: Teste 2; Anexo 10: Protocolo para entrevistas; Anexo 11: Avaliação da unidade de ensino; Anexo 12: Questionário: Estratégias de aprendizagem e visão de ciências.

seres e das coisas, a resposta acaba por negar o problema. Segundo tal perspectiva, possuímos temperatura constante porque esta é uma característica vital do nosso organismo, não conduzindo essa constatação a qualquer busca de mecanismos intervenientes. Ao contrário, de um ponto de vista centrado em eventos e transformações, procura-se destacar aspectos que podem justificar as diferenças entre temperatura do corpo e temperatura do meio, tais como o isolamento da pele, que separa o calor do corpo e o frio do meio ou, ainda, a produção de calor, que explica o fato de sermos “quentes”. Finalmente, um olhar em termos de sistema permite reconhecer o problema das regulações térmicas, ou seja, indicar, mesmo que de forma lacunar, fatores e atividades do organismo que, em sintonia com as condições do meio são capazes de manter constante a temperatura corporal.

As questões 2, 3 e 4 centram-se em observáveis ligados às mudanças do organismo em resposta a condições de frio ou de calor. Esses observáveis – transpiração, ventilação, sensação de calor com atividades físicas, tremores involuntários, pele ressecada, uso de agasalhos e aquecimento por atrito – foram destacados na formulação das questões e sua “explicação” solicitada em cada caso. O conteúdo das explicações varia, incluindo narrativas e passando pelas conexões entre cada observável e as qualidades/atributos dos seres ou, ainda, dos observáveis entre si, com vários níveis de necessidade lógica decorrentes de sua subordinação, sistemas inferenciais mais amplos. As respostas permitiram, também, reconhecer o nível de diferenciação entre os estados térmicos e as sensações ao tato.

As questões 5, 6 e 7 envolvem a interpretação de fenômenos térmicos simples e cotidianos – como o derretimento de uma pedra de gelo em um copo de limonada gelada, o resfriamento de uma xícara de café ou as avaliações de temperatura de diferentes objetos em um mesmo ambiente. Elas foram formuladas de modo bastante geral, exceção feita apenas à pergunta sobre a existência ou não de transferência de calor no caso da limonada com gelo. Pretendíamos, por meio delas, ter acesso à linguagem e atribuições eventualmente utilizadas pelos estudantes na interpretação de suas experiências cotidianas com os fenômenos térmicos. A partir dessas situações, foi possível averiguar se os estudantes utilizavam espontaneamente a noção de calor e em que sentido o faziam; se trabalhavam com noções de frio/quente como qualidades distintas do calor; e, ainda, se utilizavam de uma noção, mesmo que intuitiva, de equilíbrio térmico, bem como de seu alcance e generalidade.

É preciso ressaltar uma objeção à questão 7, relativa à avaliação de diferentes materiais colocados em um mesmo ambiente durante um longo tempo. Parece-nos, hoje, que o contexto que utilizamos não foi o mais adequado pois, na avaliação ao tato, objetos colocados em um *freezer* são igualmente “frios”. Lamentamos não haver proposto outras situações em que se coloca, mais claramente, o conflito entre a sensação ao tato e a idéia geral de uma uniformização com a temperatura ambiente. No primeiro instrumento de pré-teste, aplicado à turma piloto, havia uma outra questão em que se comparavam as sensações ao tato provocadas por diferentes materiais utilizados como piso em residências – madeira e pedra ardósia – e solicitava-se uma comparação entre suas temperaturas. A extensão do instrumento de pré-teste levou-nos a deslocar essa questão para o primeiro teste escrito, realizado pelos alunos na quarta semana do curso.

Finalmente, pela questão 8, relativa ao problema da febre, pretendíamos introduzir uma perturbação, para verificar como poderia ser considerado o problema da não-regulação, ou de uma regulação “anormal” da temperatura corporal. Entretanto, dada a complexidade da situação, boa parte das respostas foram bastante evasivas e poucas deram indicativos interessantes quanto aos modos de compreensão dos estudantes.

Queremos justificar, ainda, a decisão de não realizar entrevistas para compor o diagnóstico do ponto de partida dos estudantes. Tais entrevistas consistem em situações interativas de grande repercussão nas representações dos estudantes, porque são realizadas face a face e envolvem uma constante renovação dos problemas propostos. Julgamos que isso poderia imprimir um diferencial no grupo de alunos que fosse eventualmente submetido a esse instrumento de pesquisa. Ganharíamos muito, certamente, na compreensão das idéias de partida deles, mas perderíamos na avaliação das estratégias de ensino adotadas, pois teríamos de admitir uma influência marcante da entrevista no engajamento dos estudantes no trabalho subsequente.

Para o pós-teste, aplicado imediatamente após o encerramento das atividades da unidade, utilizamos as mesmas questões². Dados sua generalidade e o caráter pouco específico dos problemas apresentados, são evidentes as limitações dessas questões como instrumentos de avaliação da aprendizagem. Por outro lado, o pós-teste cumpriu um papel importante na tomada de consciência, por parte dos estudantes, de sua própria

² O Pré-teste foi aplicado no início de junho e o Pós-teste, no final de agosto, havendo entre eles um interstício de um mês de férias escolares.

aprendizagem. Após responderem individualmente às questões, eles recebiam os questionários a que haviam respondido anteriormente e, comparando suas respostas, deviam comentá-las por escrito. Essa atitude favoreceu uma avaliação do ensino e dos processos de aprendizagem, que foi objeto de reflexão pessoal e de discussão coletiva. As avaliações pessoais sobre o ensino desse tópico de conteúdo foram respondidas por escrito. Elaboramos para isso, um breve roteiro de avaliação, que está reproduzido no Anexo 11.

Em geral, tanto o pré quanto o pós-teste dão-nos boas indicações quanto à passagem do primeiro para o segundo nível de entendimento, mas são bastante imprecisos quanto ao terceiro nível, posto que boa parte das questões podem ser respondidas corretamente sem que seja necessário recorrer-se às coordenações sistema-esquema. De fato, para uma resposta completa e satisfatória, apenas nas questões 1 e 8 era preciso se valer de uma visão sistêmica do problema das regulações térmicas. Para superar as lacunas do pós-teste foram utilizados outros instrumentos para diagnóstico das representações dos estudantes. Assim, no mesmo período, após o encerramento da unidade, os estudantes realizaram outro teste escrito (Teste 2), com questões mais específicas, e dois meses depois, foram feitas entrevistas individuais com um grupo de alunos da turma.

4.2.2. Teste 1

Ao final da quarta semana de curso, quando encerrávamos a primeira parte da unidade, foi aplicado um instrumento de avaliação na forma de teste individual escrito (ver Anexo 8). Esse teste tinha por finalidade identificar os progressos dos estudantes na passagem do nível I para o nível II, ou seja, a eventual superação das dificuldades relacionadas à dicotomia frio/quente na conceituação de calor, ao sentido das transferências de calor e à generalidade do equilíbrio térmico enquanto igualdade final de temperaturas, após interações térmicas de diferentes materiais.

A primeira questão do teste consiste em um conjunto de quatro proposições a serem identificadas como verdadeiras ou falsas. Em qualquer dos casos, os estudantes deveriam apresentar uma justificativa de sua resposta, dando exemplos e corrigindo ou comentando a proposição. Com isso, pretendíamos colocá-los frente a interpretações alternativas, identificadas no estudo piloto e no desenvolvimento da unidade em sala de aula, referentes ao problema das regulações térmicas e das sensações de calor e frio. A

vantagem desse tipo de formulação está em colocar em juízo as interpretações, buscando razões que levem a afirmar ou a refutar sua adequação à abordagem científica dos fenômenos térmicos. A objeção é a de que nem sempre os estudantes interpretam corretamente o conteúdo e o significado de tais proposições, pois, com certa frequência, a justificativa dada era correta, mas o juízo sobre sua correção, equivocado. Outro problema enfrentado foi o de que muitos alunos não justificaram as proposições julgadas corretas, embora tivessem sido orientados para isso, por que não sabiam como fazê-lo.

Na primeira proposição, procuramos identificar a generalidade das transferências de calor do organismo para o ambiente, considerando que nossa temperatura corporal é usualmente superior à do ambiente. A segunda proposição contém um enunciado comprometido com a dualidade quente/frio, por afirmar que as percepções de quente e frio são decorrentes do frio e do calor emitido pelo ambiente à nossa volta. A terceira proposição, também postula a dicotomia calor/frio, mas a isso acrescenta a idéia de temperatura como uma mescla dessas duas qualidades. Muitos estudantes não compreenderam, porém, o sentido da afirmação feita, o que pôde ser identificado por justificativas deslocadas de seu conteúdo original. Finalmente, na quarta proposição, voltamos à questão do modo como os agasalhos funcionam. No pré-teste, poucos estudantes expressavam crenças de que os agasalhos nos aquecem diretamente, o que foi, também, constatado na atividade em que previam e observavam o efeito de enrolar uma pedra de gelo em uma flanela. Apesar disso, a questão manteve um certo interesse, na medida em que várias justificativas do isolamento térmico sugerem uma ressonância apenas aparente com o conceito científico: assim, o agasalho isola temperatura; protege do frio; impede o contato com o frio; impede o contato do calor ambiente com o nosso corpo; ou, ainda, aquece o ar e este em seguida aquece o nosso corpo.

A segunda questão do teste envolve uma situação em que as sensações térmicas parecem contradizer o princípio do equilíbrio térmico de diferentes materiais em contato. Nesse caso, buscamos identificar não apenas as previsões sobre as temperaturas dos materiais envolvidos, mas sobretudo a explicação dada às sensações provocadas. Embora muitas respostas tenham um grande interesse na pesquisa, é preciso registrar que algumas, por lacônicas, muitas vezes, impedem que o educador conheça, efetivamente, o que os estudantes pensam sobre o problema. Este parece-nos constituir um mecanismo de defesa deles contra o processo de escolarização, que, com frequência,

não lhes interessa e do qual querem se livrar rapidamente e com pouco esforço. Assim, ao não se exporem em situações de avaliação e apenas repetir formulações gerais e bastante vagas, seguem em frente mantendo uma aparência de aprendizagem suficiente para lhes satisfazer internamente e às exigências da escola.

O teste foi corrigido e comentado em sala de aula. Os estudantes foram solicitados a corrigir e/ou completar as respostas consideradas inadequadas e entregarem novamente o teste para uma segunda correção. Não foi permitido o uso de borracha ou corretivos, mas apenas comentários adicionais e reformulações das respostas dadas. A prática de correção de avaliação em dois turnos foi um mecanismo utilizado para que os estudantes tomassem consciência dos próprios erros e lacunas e buscassem elementos para sua superação.

4.2.3. Atividades Extraclasse

Ao longo da unidade, várias atividades foram realizadas em casa e entregues à professora. Em geral, consistiam em leitura de textos da apostila, elaboração de sínteses dos textos lidos e das atividades realizadas e respostas a algumas questões. O objetivo era o de que os estudantes mantivessem uma rotina de estudos e leituras, bem como pudessem registrar por escrito sínteses dos conceitos que iam sendo apresentados e conclusões sobre os problemas propostos. Muitos alunos, porém, conduziram tais atividades de modo bastante rotineiro, com pouco envolvimento na realização das tarefas. Apesar disso, esses instrumentos serviram de alerta para que tópicos considerados suficientemente desenvolvidos – como os mecanismos de produção de calor via respiração celular –, fossem retomados e discutidos em sala de aula. Por exemplo, na síntese da atividade II.1 e do texto II.1 (ver Anexo 1, p. 16-17), vários estudantes manifestaram a crença de que a glicose ou os alimentos eram convertidos em energia; outros demonstraram problemas com o conceito de equilíbrio térmico, incorretamente atribuído às trocas de calor entre organismo e meio.

Além dos textos da apostila, os estudantes leram em casa o texto “Um ‘Interrogatório’ com o Calor”, extraído de PIETROCOLA & TEIXEIRA JR. (1998). Julgamos que a linguagem utilizada nesse texto poderia contribuir como uma síntese final à primeira parte do estudo da unidade. A esse texto foram incorporadas algumas questões adicionais, que foram respondidas por eles.

O trabalho final de pesquisa, que planejamos como síntese do estudo da unidade e como oportunidade de aplicação dos conceitos a novas situações, acabou não sendo realizado por falta de tempo. Esse trabalho consistiria na apresentação, pelos vários grupos da turma, dos processos de adaptação de um animal, escolhido por eles, a condições extremas de calor ou frio. Ao prolongarmos excessivamente as discussões da primeira parte da unidade, comprometemos o tempo disponível ao estudo desse conteúdo. Uma visão geral dos processos de formação dos estudantes levou a optar pela abordagem, em seguida e conforme o planejamento, da unidade que tratava de problemas de conversão e conservação de energia – “Produção de Energia: o Caso das Hidroelétricas” – e de outra, visando introduzir o modelo cinético da matéria.

4.2.4. Teste 2

Realizado imediatamente após a conclusão dos trabalhos com a unidade, o segundo teste foi crucial para a coleta dos dados de nossa pesquisa. Era composto por cinco questões, todas envolvendo situações-problemas referentes aos processos de regulação de temperatura em seres vivos (ver Anexo 9).

As coordenações necessárias para a compreensão de fluxos de energia em sistemas abertos foram tratadas explicitamente na questão 1, item b, em que se solicita uma explicação para a manutenção da temperatura de um ferro de solda ligado à tomada, após certo tempo de contato com o ar. No item c, pedia-se uma comparação entre o ferro de solda e o corpo humano no que se refere às trocas de energia que realizam com o meio em que se encontram. Tal atividade, realizada em sala de aula, como suporte para a construção da noção de fluxos de energia e de equilíbrio em sistemas abertos e fechados, foi retomada na avaliação, a fim de não contaminar o problema com variáveis contextuais desconhecidas.

A questão 4, itens b e c, envolvia também coordenações do tipo sistema-esquema, na medida em que se solicitava descrever e explicar os processos que acarretam mudanças na temperatura da pele quando a temperatura ambiente se eleva e, eventualmente, ultrapassa a temperatura corporal. Situações semelhantes foram, também, objeto de atividades em sala de aula. Apesar disso, a questão da inversão do gradiente de temperatura foi reconhecida como uma perturbação por boa parte dos estudantes, que apresentaram visões bastante diferenciadas em suas soluções. Na mesma questão, no item a, as diferenças entre temperatura da pele, temperatura corporal e

temperatura ambiente foram explicadas de muitos modos diferentes, envolvendo desde atribuições mais fracas, de contato com o frio, até esquemas que coordenam mecanismos de produção e transferência de calor pelo organismo.

Na questão 2, baseada na comparação entre animais homo e heterotermos, pretendíamos que os estudantes destacassem os observáveis e as coordenações que permitem distinguir classes distintas de “objetos”, segundo seus modos peculiares de funcionamento e regulação com as alterações do meio ambiente. O fato de serem, ou não, consideradas as interações e trocas de energia com o meio e as proposições em termos de calor, temperatura e equilíbrio térmico, forneceu-nos indicadores para verificar a consolidação do nível II. Alguns estudantes, por exemplo, deduziam, incorretamente, que os heterotermos não realizavam trocas de calor com o meio, porque sua temperatura era igual à temperatura ambiente, o que evidencia um olhar centrado em estados e não, em transformações.

A questão 3 envolvia uma situação aparentemente trivial: filhotes de pinguins que se aglomeram para se abrigarem em dias de inverno. Solicitava-se que os alunos explicassem aquele comportamento com base nos conceitos de calor e temperatura. Os estudantes têm, certamente, experiências pessoais semelhantes, em que se aquecem no abrigo de um colo ou abraço de outra pessoa. O problema proposto consiste em saber de onde vem o calor que "aquece" animais e seres humanos nessas circunstâncias. A impressão intuitiva é a de que o “outro” me aquece, mas como seria isso possível, se as temperaturas corporais de membros da mesma espécie são as mesmas³? O interesse foi, portanto, averiguar a generalidade do conceito de calor, enquanto fluxo de energia entre sistemas a diferentes temperaturas, e a indicação de que os estudantes pudessem resolver a situação por negação: ao diminuir a superfície de contato com o meio externo, o fluxo total de energia das aves para o meio era reduzido. Poucos alunos chegaram a mencionar e explicar mecanismos de transferência de calor por convecção – ar preso entre as penas das aves do grupo – e por radiação. Assim como na questão anterior, a consolidação do nível II de entendimento era suficiente para uma correta solução da situação proposta.

³ A questão é complexa, pois pode haver diferenças de temperaturas na superfície dos animais. No caso do agrupamento de pinguins, certamente, há um revezamento entre aqueles que ficam mais expostos ao ar, nos limites externos do grupo, e outros que se encontram mais bem abrigados. Entretanto nenhum dos estudantes manifestou, em suas respostas, considerações desse tipo.

A questão 5 teste centra-se na formulação de proposições para explicar as diferenças entre os conceitos científicos de calor e temperatura, assim como entre o uso cotidiano e científico dos mesmos termos. Para provocar a contextualização da discussão e propiciar um envolvimento que culminasse com o registro de definições, foi utilizada ilustração extraída de GUIMARÃES & FONTE BOA (1998). Notamos, porém, uma assimetria no desempenho dos estudantes nesta questão e nas demais: alguns utilizaram corretamente os conceitos de calor e temperatura nas situações-problema, mas propuseram definições completamente equivocadas; outros, em menor número, fracassaram no uso adequado dos termos nas situações propostas, mas foram muito precisos nas definições. A nosso ver, tais observações traduzem uma dificuldade considerável dos estudantes em expressar seus conhecimentos na forma de proposições de maior generalidade, o que é certamente uma característica do texto e do discurso científicos. A aquisição dessa habilidade seria apenas uma questão de tempo, na medida em que as definições expressam um grau de formalização ainda em curso?

Finalmente, apenas no último item da questão 5, solicitamos explicitamente uma avaliação, por parte dos estudantes, da idéia de energia ligada ao frio, por oposição à energia associada ao calor, para verificar as eventuais superações de atribuições típicas do nível I. Assim como na questão 1.3. do teste 1, a formulação do item levou muitos alunos a concordar com o “calor do frio” esclarecendo, corretamente, que, por mais frio que seja, o corpo é sempre mais quente que outros e, portanto, tem “energia”⁴. Outro problema desse item consistiu na solicitação do significado da definição do calor como “forma de energia”. Como afirmamos anteriormente, os estudantes não tinham qualquer condição de distinguir entre calor e energia interna, visto que isso envolve outra série de construções, ou seja, a idéia de calor e de trabalho como modos distintos de transferir energia e a atribuição da noção de conservação à energia, mas não ao calor e ao trabalho isoladamente. Assim sendo, o calor como “forma de energia” constitui uma síntese provisória, sujeita a outros processos de equilibração. Neste momento, a intenção do processo avaliativo – que é, certamente, um momento de aprendizagem – era compreender os significados atribuídos pelos estudantes à noção de energia e à sua relação com o conceito de calor.

⁴ Nenhum dos alunos desta turma fez qualquer referência à idéia de um frio “absoluto”, o que não nos surpreendeu, já que não tinham conhecimentos acerca do modelo cinético de partículas.

4.2.5. Entrevista Final

Ao final da unidade, planejamos realizar entrevistas com alguns estudantes como recurso metodológico auxiliar, que possibilitasse o cruzamento dos dados até então disponíveis. Eram claras as limitações dos testes escritos, tanto pelas dificuldades dos estudantes na construção de textos argumentativos, quanto pelo fato de serem tais testes, comumente, uma forma de avaliação escolar de desempenho. Por mais que o resultado das avaliações quantitativas fossem relativizadas pelo corpo docente da Escola e pela professora Selma, o fato é que a tradição escolar lhes confere um valor absoluto.

A questão que enfrentávamos, nesta fase, era saber se os estudantes haviam assimilado as idéias apresentadas ou se apenas as compreenderam. A compreensão envolve o entendimento das razões e o encadeamento das idéias do outro, o que o torna capaz de reproduzi-las com certa competência; a assimilação vai além, pois envolve a internalização de idéias ou conceitos e, portanto, sua coordenação com outras idéias e conceitos que fazem parte de uma estrutura de conhecimentos do sujeito. Havendo assimilação, pode-se dizer que o sujeito está de posse de um instrumento, que tende a ser aplicado e generalizado em outras situações. Convém, no entanto, lembrar que a assimilação de um esquema nem sempre é acompanhado por sua tomada de consciência e, conseqüentemente, pelo controle do pensamento por parte do sujeito da aprendizagem. Além disso, a situação a ser enfrentada pode comportar “distratores” (VILLANI & ORQUIZA DE CARVALHO, 1997, p. 93), isto é, condições que obrigam a uma diferenciação, ao não-reconhecimento das condições de aplicabilidade dos esquemas ou à identificação de circunstâncias em que esquemas mais primitivos sejam ativados para a solução do problema proposto.

Quando um sujeito resolve satisfatoriamente uma situação problema que comporta algum grau de novidade, pode-se afirmar que ele está de posse de certos esquemas necessários àquela solução. Entretanto, quando ele não ativa os conhecimentos esperados na resolução de um problema, não se pode afirmar que não os assimilou, pois a situação particular pode ter-lhe sugerido outros caminhos e ativado outros esquemas de conhecimento. Como, então, interpretar os dados obtidos? A resposta a essa pergunta está na diversidade dos instrumentos de avaliação empregados. No desenvolvimento do curso, utilizamos como indicadores os episódios de sala de aula, as atividades extraclasse e o primeiro teste escrito. Ao final do curso, recorreremos a um instrumento de pós-teste, ao segundo teste escrito e à entrevista. O cruzamento

desses vários instrumentos permitiu compor uma visão abrangente sobre os modos como os estudantes interpretam as informações veiculadas pelo ensino.

Vários são, contudo, os fatores que tornam complexo esse cruzamento de informações. O desempenho de alguns alunos, na entrevista e nos testes escritos, é visivelmente diferenciado: A aluna Kri, por exemplo, mostrou-se bastante loquaz na entrevista, mas, nos testes não elaborou raciocínios argumentativos consistentes. Dan, ao contrário, teve bom desempenho nos testes escritos, porém nos surpreendeu negativamente na entrevista. À época de realização dessas tarefas é um dos fatores que podem ter interferido nesses resultados. Enquanto o pós-teste e o segundo teste escrito foram realizados imediatamente ao final do módulo didático, as entrevistas ocorreram entre um e dois meses depois. Entre os dois momentos, os estudantes estudaram o módulo “Produzindo Energia: o Caso das Hidroelétricas” e iniciaram o estudo de “Introdução ao Modelo de Partículas”, cujos conteúdos guardam vínculos evidentes com aqueles que estamos a examinar. Poderíamos argumentar que, no caso de Dan, os progressos eram apenas aparentes e que, com o tempo, prevaleceram as idéias de partida. Ou, ainda, supor que Kri apresentava uma postura de não-importismo na entrevista, dizendo a primeira coisa que lhe ocorria à mente, sem a elaboração e reflexão com que realizava as avaliações escolares. De qualquer modo, o embaraço diante da situação de entrevista era visível em alguns estudantes, mas não em todos – Kri, por exemplo, ao final da entrevista, lamentou não ser avaliada pela Escola sempre desse modo.

Além da diferença entre as situação contextual e discursiva, nos testes e na entrevista, é possível destacar, ainda, as referentes ao estilo das questões utilizadas e aos conteúdos envolvidos em cada um desses instrumentos. Tivemos já a oportunidade de ressaltar os fatores que distinguem o pós-teste e o teste final da unidade. Vejamos, agora, como foi elaborado o protocolo da entrevista (ver Anexo 10) e os cuidados que tomamos em sua condução.

As entrevistas foram conduzidas em tom informal, o que foi favorecido pelo fato de o entrevistador (eu mesmo) e os entrevistados terem estabelecido um relacionamento anterior, ao longo de todo o período de trabalho com a unidade. As primeiras entrevistas foram realizadas no início da tarde, mas, logo, vimos que esse horário trazia inconvenientes para os alunos. Passamos, então, a fazê-las nos horários de aula de ciências, mas, nesse caso, perdíamos a oportunidade de utilizar o espaço e os recursos

do laboratório. As entrevistas não podiam ser muito longas, o que prejudicou o andamento de algumas delas.

No início de cada entrevista, reafirmávamos nossas intenções e, então, passávamos a apresentar algumas situações-problemas, que funcionavam como contexto para o estabelecimento de uma conversação acerca dos conteúdos da unidade. Não seguimos uma ordem rígida na colocação dos problemas, que foram numerados apenas para facilitar sua identificação pelo leitor, nem, tampouco, na profundidade dos comentários e perguntas adicionais propostos, que variava segundo o conteúdo das enunciações dos estudantes. Procuramos, também, intercalar perguntas mais gerais sobre os conteúdos da unidade e perguntas mais específicas sobre as situações-problemas. Havia uma clara intencionalidade, sistematicamente relacionada com nossas hipóteses anteriores ou com outras, que ia sendo desenvolvida no curso das interações.

Em alguns casos, buscávamos informações adicionais e comentários sobre de algumas das produções dos alunos em testes escritos, de modo a confirmar nossa interpretação anterior. Em outros, procurávamos, com a entrevista, obter informações adicionais a que não havíamos tido acesso por meio dos outros instrumentos de avaliação. Uma primeira questão a ser investigada consistia em saber o nível de diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura. Para isso, foram elaboradas as situações 2 e 3. A situação 2 é bastante simples, tendo sido considerada evidente por alguns estudantes e embaraçosa por outros. A situação 3 merece alguns comentários adicionais, visto que propõe, como desafio, comparar quantidades de calor transferido ao ambiente durante o resfriamento de dois materiais a diferentes temperaturas – por exemplo, um prego incandescente e um litro de água em ebulição. Na medida em que não havíamos desenvolvido cálculos correspondentes, nosso interesse, nessa proposição, era apenas o de verificar se o estudante considerava outras variáveis, além da temperatura, ao comparar as quantidades de calor transferido nas duas situações apresentadas.

Procuramos, ainda, nos aproximar, por meio desse instrumento, do *status* conferido pelos estudantes à hipótese de conservação da energia. Nas primeiras entrevistas realizadas, esse assunto era tratado mediante questões mais gerais, que introduzíamos a partir do problema da produção de calor nos organismos e das relações entre calor e energia. Após apresentarmos a hipótese de conservação de energia e ao questionarmos os estudantes quanto à generalidade desse princípio, um deles propôs o

contexto que passamos a incorporar, como situação-problema, nas entrevistas posteriores: um palito de fósforo é aceso e, em seguida, apagado (situação 5). Com a situação 6, pretendíamos verificar, também, se a idéia de balanço energético era corretamente utilizada em um contexto, até então, não explorado.

Ao contrário dessas, as situações 1 e 4, foram suficientemente tratadas nos testes escritos, e nosso interesse relativamente a elas, na entrevista, foi apenas o de confirmar os dados anteriores, o que algumas vezes trouxe surpresas, como veremos no caso da aluna Rai.

Ao final da entrevista, os alunos responderam a um questionário sobre importância atribuída a estratégias de aprendizagem (ver Anexo 12), sendo levados a comentar os itens considerados mais relevantes e aqueles julgados menos relevantes. Responderam, ainda, a duas questões a respeito da visão que tinham das ciências naturais, seus propósitos e métodos de investigação.

4.3. Níveis de Entendimento e Patamares Pedagógicos

No contexto da prática pedagógica, podem-se examinar de dois modos as questões referentes aos níveis de construção de conceitos. O primeiro consiste em fazê-lo tendo como referência o ensino de determinados conteúdos específicos deflagrados por este ou aquele contexto de investigação. Foi o que fizemos no capítulo 3, examinando as metas de aprendizagem e os níveis de complexidade no tratamento dos conceitos, de modo que se configurasse um possível caminho para a aprendizagem que se pretendia deflagrar. Sob a denominação de “patamares pedagógicos”(ver Anexo 4) destacamos, no planejamento correspondente, uma progressão desejada das representações de partida em direção às metas estabelecidas para a unidade de ensino.

Um segundo modo de considerar os níveis de desenvolvimento de conceitos consiste em fazê-lo a partir das manifestações, registros e produções dos estudantes em seu processo de aprendizagem. Neste caso, a determinação de categorias e níveis de desenvolvimento dos conceitos não pretende orientar o planejamento do ensino, mas reconhecer padrões e discriminar processos na aprendizagem efetivamente desenvolvida pelos estudantes. A essas categorias, denominamos “níveis de entendimento” dos conteúdos da unidade.

Enquanto os patamares pedagógicos são pré-ativos, na medida em que antecipam um projeto de intervenções didáticas, os níveis de entendimento são interativos e retroativos, ou seja, pretendem oferecer instrumentos para a análise dos processos de aprendizagem a partir de seus instrumentos de avaliação, durante e após as interações. Assim sendo, os patamares pedagógicos esboçam um possível caminho para a aprendizagem, enquanto os níveis de entendimento pretendem estabelecer categorias que permitam acompanhar os caminhos efetivamente percorridos. Os patamares pedagógicos indicam possibilidades e novidades em relação às etapas precedentes; os níveis de entendimento devem, além disso, destacar ruídos, assimilações deformantes, obstáculos e lacunas das representações dos estudantes em relação ao conhecimento científico estabelecido.

É evidente que esses dois planos – o planejamento do ensino e o da avaliação da aprendizagem – são interdependentes. Em primeiro lugar, a direção dada pelo ensino aos processos de aprendizagem situa os sujeitos aprendizes, porque o pensamento rompe a “isotropia” do espaço de aprendizagem, criando direções preferenciais de deslocamentos cognitivos, embora não exclua a possibilidade de trajetórias cognitivas não-previstas. Mais que isso, na medida em que avaliar significa atribuir valores, os critérios utilizados para tais atribuições são, via de regra, extraídos do planejamento do ensino, mesmo quando este é apenas implicitamente considerado pelo professor. Nesse caso, os instrumentos de avaliação são, eles mesmos, inevitavelmente contaminados pela direção que se pretende dar ao ensino.

As relações entre as metas do ensino e os processos de aprendizagem têm implicações na metodologia da pesquisa, uma vez que os elementos do planejamento do ensino podem limitar o olhar do professor/pesquisador no sentido de não reconhecer outras categorias senão as inicialmente forjadas. Isso demanda do educador um grande esforço de descentração e imersão nos resultados da avaliação/dados de pesquisa, tendo em vista reconhecer padrões e forjar categorias, antes, não-observáveis.

Finalmente, pode-se afirmar, ainda, que os níveis de entendimento, resultado da avaliação da aprendizagem, influenciam retrospectivamente os modos de compor e planejar o ensino. Considerando-se que a avaliação da aprendizagem abre novas possibilidades e reflexões sobre o ensino e seu planejamento, isso conduz a outras práticas e constitui um repertório sempre renovado de saberes docentes.

Para a configuração dessas categorias, no âmbito do planejamento e da avaliação, é necessária uma série de “competências profissionais” (VILLANI & PACCA, 1997), que envolvem uma compreensão suficientemente ampla dos conhecimentos disciplinares envolvidos, das representações dos estudantes e dos processos de aprendizagem em ambiente escolar, de modo a identificar obstáculos e ressonâncias entre os níveis de entendimento dos aprendizes e os conhecimentos científicos estabelecidos. O modelo de ensino proposto, ancorado numa sólida teoria epistemológica e psicológica, pretende constituir-se em instrumento auxiliar para o desenvolvimento dessas competências profissionais.

Como o planejamento apresentado resultou de um estudo piloto, a partir do qual se configuraram os patamares pedagógicos definidos, não é de admirar a proximidade entre os patamares pedagógicos e os níveis de desenvolvimento que apresentaremos a seguir. A principal novidade destes, além de destacar certas concepções alternativas desenvolvidas ao longo do curso, reside na proposição de subníveis, em cada um dos três níveis anteriormente propostos, para facilitar o reconhecimento de mudanças significativas entre eles. No caso do nível I, o critério utilizado para distinguir os subníveis foi a ausência, ou presença, de um sistema causal, mesmo que extremamente centrado em propriedades extraídas da experiência com os objetos. No caso dos outros dois, os critérios foram a generalidade e estabilidade das construções efetuadas, bem como a proximidade destas em relação aos conhecimentos científicos.

Finalmente, cabe ressaltar que, embora adotemos os mesmos símbolos utilizados por Piaget para designar os estágios de desenvolvimento cognitivo de crianças e adolescentes, os níveis de entendimento definidos neste estudo não são derivados daqueles, nem a eles se superpõem. Reafirmamos nossa convicção nas diferenças entre os estágios de desenvolvimento cognitivo, relativos às possibilidades de interação da criança com o mundo físico e social, em termos de aquisições de estruturas operatórias gerais, e os níveis de entendimento, relativos às significações concretamente desenvolvidas pelos estudantes quanto a tópicos de conteúdo, em contextos específicos de aprendizagem escolar.

4.4. Redefinindo os Níveis de Entendimento a Partir da Análise dos Dados

Convém lembrar, primeiramente, a descrição geral dos três níveis propostos no planejamento da aprendizagem, que permanecem essencialmente os mesmos na análise

dos dados de avaliação da aprendizagem. No nível I, agrupam-se aquelas respostas comprometidas com os observáveis extraídos diretamente da experiência com os objetos, especialmente a partir das sensações térmicas. No nível II, destacam-se as produções dos estudantes que caminham na direção de uma relativização das noções de partida, centradas no estabelecimento de relações, regularidades e hipóteses acerca dos processos térmicos. Finalmente, no nível III, enquadram-se as produções dos estudantes que abordam sistemas integrados, com estruturas de conservação e regulação em construção.

Apresentamos, a seguir, de modo sucinto, cada um desses níveis de entendimento, com seus subníveis, destacando, em cada um deles, os elementos ligados às descrições (intra), às relações e transformações (inter) e teorias (trans), exemplificando suas manifestações e comentando-as⁵:

Nível I – Lógica dos Atributos: qualidades e propriedades dos objetos

IA – Ausência de mecanismos causais, pensamento dominado por pseudonecessidades⁶		
Aspectos Intra (Descrição/Observáveis)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura corporal constante como atributo do organismo sadio. • Análise centrada em objetos, prescindindo de mecanismos de interação. • Calor vida; calor fonte; calor efeito. 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolamento térmico – separação mecânica do contato com o ambiente • Causalidade linear – efeitos unilaterais (o ambiente modifica o objeto, mas não há reciprocidade; prevalece o aspecto mais evidente, por exemplo., o frio do gelo) 	<ul style="list-style-type: none"> • As sensações ao tato correspondem diretamente às propriedades dos objetos. • Ausência de mecanismos causais, por mais elementares que sejam. • O calor esvai-se no contato com o ambiente, retornando o objeto à sua temperatura própria.

Este primeiro subnível corresponde a uma ausência de mecanismos causais na descrição dos fenômenos térmicos, a não ser em suas manifestações mais primitivas – causalidade natural, teleológica ou animista. Entretanto os sujeitos, ao se referirem a eles, crêem estar “dando explicações”. Resta-nos, então, a tarefa de qualificá-las e

⁵ As produções dos estudantes, recortadas de vários momentos de avaliação da aprendizagem, são numeradas como “enunciações” E1, E2, e assim por diante, a fim de facilitar a referência a eles nos comentários. Segundo BAKHTIN (1997, p. 16), a enunciação “*não existe fora de um contexto social [...] Há sempre um interlocutor, a menos em potencial. O locutor pensa e se exprime para um auditório social bem definido*”.

⁶ Para PIAGET (1985) as pseudonecessidades refletem uma indiferenciação inicial entre o real, o possível e o necessário, na medida em que o objeto do conhecimento parece ao sujeito não apenas o que é mas, ainda, como devendo necessariamente ser, o que exclui a possibilidade de variações ou mudanças. A propósito da superação das pseudonecessidades na aprendizagem em ciências, ver AGUIAR JR. (1995, p. 95-101).

estabelecer diferenças em relação aos mecanismos causais que encontramos nos níveis seguintes.

Seguem-se alguns exemplos de produções dos sujeitos desta pesquisa, cujo modo de “explicar” classificamos como expressão da ausência de causalidade, formal ou eficiente:

E1- "Acho que a nossa temperatura tem a ver com o organismo. Assim, quando estamos sadios, a temperatura se mantém e, quando estamos doentes, ela varia." (Adr, Pré-teste, questão 1)

E2- "O ar está em contato com o café e vai esfriando, pois a xícara não mantém uma certa temperatura por muito tempo e nem o café se mantém. Quando soprarmos o café, ele está em contato maior com o ar, fazendo com que ele esfrie rapidamente." (Adr, Pré-teste, questão 6).

E3- "Eles [filhotes de pingüins na Antártida] se mantêm aquecidos, pois estão acostumados com baixas temperaturas." (Car, Teste 2, questão 3)

E4- "Começamos a transpirar muito, pois não somos acostumados a temperaturas altas" (Car, Teste 2, questão 4b)

E5 – "Porque o gelo tem que ficar em uma temperatura ideal." (And, Pré-teste, questão 5)

E6- "Quando sentimos calor e ligamos o ventilador, o ar, sendo movimentado, chega a nós em forma de vento, fazendo com que o corpo se sinta fresco." (Adr, Pré-teste, questão 2)

E7- "Os tremores acontecem, pois estamos sentindo muito frio e a pele se resseca pelo mesmo motivo." (Kri, Pré-teste, questão 4)

E8- "Nós produzimos o nosso calor e a temperatura ambiental não interfere." (Lua, Teste 2, questão 4c)

E9- "A temperatura do nosso corpo fica a mesma porque, se aumentar, podemos até morrer, pois o corpo não agüenta ficar com a mesma temperatura do ambiente." (Pri, Teste 2, questão 4c)

A característica geral de todas essas formas de “explicação” é o fato de estarem centradas em aspectos isolados dos objetos, ignorando-se suas interações. Assim, a qualidade dos seres e dos objetos é a razão apontada para o modo como eles operam e funcionam, como se pode notar nas cinco primeiras enunciações. O poder causal não é atribuído a um agente externo, mas à própria substância, na perspectiva aristotélica de mudança como uma realização da natureza essencial das coisas (BROSNAN, 1990): o gelo, para permanecer como tal, deve ser mantido em uma “temperatura ideal”; os animais do Ártico estão “acostumados” ao frio; o café se esfria, pois estava aquecido e retorna à sua condição normal e assim por diante.

Em outros momentos, como se vê em E6 e E7, é a narrativa que substitui a explicação racional. Nesse caso, a seqüência de acontecimentos encadeada

temporalmente deflagra, como resultados pseudonecessários, os desdobramentos observados pela experiência direta com os objetos⁷. Outras vezes, as explicações expressam um finalismo mal disfarçado, como se pode notar em E8 e E9. As respostas são essencialmente centradas na perspectiva do sujeito, e os progressos em direção aos níveis posteriores podem ser considerados como um processo de descentração contínua.

Quanto aos conceitos de calor e temperatura, sua indiferenciação é notória, como se pode inferir a partir das enunciações:

E10- “Temperatura é quando sentimos a temperatura do ar maior do que a do nosso corpo.” (And, Teste 2, questão 5)

E11- “Calor é tudo que pode se mover, modificar e crescer.” (Lua, Teste 2, questão 5)”

E12- “Calor é um quente muito quente que nós sentimos. Com exemplo, o calor do sol.” (Car, Teste 2, questão 5a)

E13- “A troca de energia acontece quando transpiramos ou quando [os animais] ficam ofegantes.” (Car, Teste 2, questão 2b)

E14- “Calor é o que sentimos quando a temperatura de um local está alta, e temperatura é essas variações de calor.” (Edu, teste 2, questão 5)

Os conceitos de calor e temperatura são definidos a partir da perspectiva sensorial do sujeito (ver E10 e E14). A noção de calor está praticamente ausente nas manifestações desses estudantes no pré-teste, visto que não há intermediários necessários para explicar o resfriamento de materiais expostos ao ambiente, quando suas temperaturas estão alteradas. Assim, é a alteração da temperatura natural do corpo que deve ser explicada, não seu retorno à condição primitiva. Quando mencionado, o termo calor é utilizado como atributo, relacionado à vida (ver E11), por referência às fontes donde provém (ver E12), ou, ainda, mediante seus efeitos, especialmente pelas sensações que provoca (ver E13 e E14).

Do ponto de vista das qualidades e atributos, podem-se identificar descrições sumárias, que se fundamentam em observáveis considerados isoladamente. Os aspectos mais evidentes, tomados como base para tais descrições, são as temperaturas em que se encontram os objetos, compreendidas a partir das sensações ao tato. Cada material tem a sua temperatura específica num dado ambiente e, apenas se esta estiver alterada – quando aquecidos ou esfriados para além do que é próprio para esta classe de objetos –,

⁷ Segundo BRUNER (1997, p. 14), a narrativa e a argumentação científica compõem dois modos de pensamento irredutíveis, que contêm tipos de causalidade diferenciados. Enquanto a narrativa busca a verossimilhança e o convencimento pelo exemplo, a argumentação emprega “a conceituação e as operações, pelas quais as categorias são estabelecidas, instanciadas, idealizadas e relacionadas umas às outras para formar um sistema”.

transferem sua temperatura ao ambiente. As relações são unilaterais e o que prevalece como modo de descrever as transformações é a exigência do “contato” com o ambiente.

IB – Causalidade centrada em atributos e propriedades dos objetos		
Aspectos Intra (Descrição)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Propriedades dos objetos: constituição de classes e categorias. • Fontes de calor e de frio. • Qualidades opostas do calor – calor frio X calor quente. • Temperatura como atributo dos materiais. • Suor como manifestação do calor. • Calor qualidade, calor efeito, calor fonte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilíbrio térmico – resultado da mistura do quente e do frio. • Mecanismo de "troca de calor" – contato frio/quente. • Indiferenciação entre calor e temperatura. • Influências recíprocas nas “trocas de calor”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para manter temperatura própria, é preciso contar com calor interno. • Primado das sensações sobre a causalidade. • Diferenças de temperatura acarretando "trocas de calor" e tendência final de equilíbrio. • Correlações entre eventos simultâneos; causalidade linear simples.

O que distingue o subnível IB do anterior é justamente a atribuição de qualidades para explicar o comportamento térmico dos materiais. Estes não apenas são dotados de atributos e qualidades, mas sobretudo estabelecem relações com as qualidades do calor – quente ou frio. Os fenômenos térmicos são, assim, explicados em termos das forças do calor e do frio através dos materiais.

Essa atribuição pode permitir alguns progressos: em primeiro lugar, passa a ser admitida, em situações específicas, a noção de equilíbrio térmico, como mescla de qualidades, frio e quente, que se opõem e se neutralizam. Entretanto não se generaliza a igualdade final de temperaturas e, mais ainda, esta pode ser negada por se admitir que os materiais têm diferentes propriedades de atrair, reter ou manter o calor ou o frio. Em segundo lugar, torna-se possível admitir que os efeitos das “trocas de calor” podem ser considerados recíprocos, em decorrência da reciprocidade de causas. Aceitando-se que cada causa produz um efeito, pode-se concluir, por exemplo, que o gelo esfria o ambiente, pois transfere seu calor (frio) a este, que, reciprocamente, derrete o gelo porque transfere a ele seu calor (quente). No entanto, em outros casos, acredita-se numa assimetria nas relações fonte/recipientes, em que a primeira é considerada ativa e o segundo, passivo. De qualquer forma, pode-se dizer que a característica central desse

nível de entendimento é o conhecimento circunstanciado, local, centrado em evidências, o que limita o sentido de suas generalizações.

Destacamos, a seguir, alguns exemplos elaborados por sujeitos desta pesquisa:

E15-“A temperatura dos homeotermos é constante, pois não sofre interferência da temperatura do ambiente. A temperatura dos heterotermos é inconstante, porque está sempre sob a ação da temperatura do ambiente.” (Nat , Teste 2, questão 2)

E16 – “Na minha opinião, o corpo se mantém relativamente constante por causa da temperatura do sangue. A temperatura sanguínea que mantém nosso corpo, quando sadio, na mesma temperatura.” (Van, Pré-teste, questão 1)

E17-“[O frio é uma ‘forma de energia’] porque tudo que causa reação é uma forma de energia. O frio é calor e calor é energia.” (Tia, Teste 2, questão 5b)

E18-“Sim, a energia está ligada a qualquer coisa. Mesmo o dia estando frio, transmitimos energia para o ambiente do mesmo jeito que [o ambiente] transfere para a gente.” (Aug, Teste 2, questão 5b)

E19 – “Cada objeto tem sua temperatura diferente, cada um conduz o ‘calor’ que recebe de uma forma. Por exemplo, o metal. Ele conduz o calor muito mais rápido do que o frio. Também [os objetos] podem ter sido colocados em horas diferentes ou retirados algumas vezes do freezer” (Deb, Pós-teste, questão 7)

E20 – “As temperaturas dos objetos serão diferentes, porque cada material retém diferenciadamente o frio.” (Van, Pré-teste, questão 7).

E21 – “Porque, quando o ar quente do café entra em contato com o ar frio do ambiente, forma um atrito das temperaturas e esse ‘atrito’ é vencido pelo ar frio, que está em maior quantidade.” (Grupo de Aug, Cam, Edu, Luc e Vin, Pré-teste, questão 6)

E22 – “A nossa pele fica ressecada e sentimos tremores, porque o ar frio entra em contato com a temperatura do corpo, que é ‘estável’, ele ‘sofre um desequilíbrio’. Ao esfregar uma mão na outra, elas entram em atrito e, então, acontece um equilíbrio térmico.” (Lud, Pré-teste, questão 4)

E23 - “Isso acontece quando o ar quente se mistura com o ar frio e o café fica na sua temperatura ambiente. Eu acho que o café não esfria e, sim, volta para a temperatura ambiente.” (Lua, Pré-teste, questão 6)

E24 - “O gelo tem uma temperatura mais fria do que a limonada. Então os dois perdem um pouco de ‘calor’, é uma transferência de calor.” (Lud, Pré-teste, questão 5)

E25-“Não, pois o mesmo corpo não pode apresentar diferentes temperaturas em um mesmo momento.” (Fre, Teste 1, questão 1.3)

Como se pode observar, prevalecem as noções de “calor qualidade”, quente ou frio, “calor fonte”, destacando-se a assimetria das fontes de calor e de frio, e “calor efeito”, já que os efeitos fisiológicos do calor e do frio são atribuídos ao real. Frequentemente, a idéia de calor quente é associada, materialmente, ao vapor ou à fumaça e o calor frio ao ar gelado, embora esta interpretação seja menos frequente. O sangue é considerado como fonte de calor para o organismo (ver E18) e o ar como fonte inesgotável de frio (CAFAGNE, 1996), o que resulta em processos unilaterais, ou seja, o ar esfria os objetos, mas não é por eles aquecido.

Com relação ao nível de complexidade das manifestações dos sujeitos, observamos a construção de categorias de objetos, com suas propriedades de reter, atrair ou conservar o calor quente ou o calor do frio (ver E19 e E20). O frio e o calor são considerados como instâncias da mesma natureza, que se mesclam, ou forças em oposição, quando vence a mais forte (ver E21). Devido à precariedade dessas relações qualitativas e absolutas, as grandezas calor e temperatura são, ainda, bastante indiferenciadas. Um primeiro passo no sentido da diferenciação consiste em atribuir temperatura à mescla das qualidades de calor que os materiais trocam, quando postos em contato. A temperatura pode ser, então, qualificada - normal, ambiente, quente, fria ou agradável (ver E22 e E23) – pois é considerada um atributo do objeto (ver E25).

Outra manifestação bastante freqüente é a formação de cadeias de eventos, ligados entre si por relações pseudonecessárias, porque apenas se constata uma simultaneidade de ocorrências em que uma é tomada como causa de outra. GUTIERREZ & OGBORN (1992) denominam-na “*causalidade mítica*”, destacando a indiferenciação entre causa e efeito, visto que as causas atuam num “*tempo mítico*”. Do nosso ponto de vista, a fragilidade desses argumentos encontra-se, precisamente, na ausência de mecanismos que conduzam do evento A ao evento B e vice-versa. Por isso, classificamos tais manifestações como essencialmente intra-objetais, porquanto centradas em estados e ocorrências e não, transformações ou interações:

E26-“Quando estamos na sauna, o vapor impede que o nosso corpo transpire e a temperatura do ambiente fica muito quente. Quando estamos na praia, temos como transpirar, então sentimos calor.” (Pri, Teste 2, questão 5; grifo nosso)

E27-“No decorrer da experiência, ele [ferro de solda] recebeu uma quantidade de energia o tempo todo. Só que a temperatura que ele estava antes é inferior à que ele recebeu. Portanto ele se aqueceu até manter uma temperatura constante, mantendo esta, sem que diminua ou aumente.” (Deb, Teste 2, questão 1b; grifo nosso)

E28-“Isso é possível, porque o coração bate em ritmo constante, e o sangue transita em um ritmo normal, e a temperatura não influencia nesse ritmo.”(Tol, Pré-teste, questão 1)

Outro aspecto a considerar diz respeito ao que é considerado “normal” e garante o “bom” funcionamento do corpo. Assim, em E28, a temperatura é constante e “normal”, porque o sangue e os batimentos cardíacos são “normais”. Podemos notar, ainda, uma inversão nos vínculos causais, quando a aluna afirma que “*a temperatura não influencia nesse ritmo*”. Nesse caso, é importante ressaltar que a pergunta consistia, justamente, em saber por que a temperatura era constante. Contudo a aluna assume a temperatura como fator que pode influenciar no ritmo cardíaco e não, como fator

explicado por este. Não nos parece que isso possa indicar vínculos causais múltiplos, mesmo porque a relação inversa é errônea e inadequada no contexto da pergunta, mas apenas uma espécie de correlação, ou seja, duas propriedades que ocorrem juntas, sem que se possam estabelecer mecanismos que conduzam de uma à outra.

Nível II – Lógica das Relações: Transferências de Calor e Variações de Temperatura

IIA – Integração quente/frio; primeiras hipóteses sobre mecanismos de produção e transferências de calor		
Aspectos Intra (Descrição)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciação entre temperatura corporal e temperatura da pele. • Aspecto fundamental – diferença de temperatura entre corpos em contato. • Temperatura – grau de calor de um corpo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assimilação recíproca do quente e do frio. • Sentido único dos fluxos de calor, por contato entre corpos a diferentes temperaturas. • Indiferenciação entre calor, temperatura e energia (fonte de contradições). • Sentido de fluxos de calor organismo/ambiente determinado pelas sensações térmicas. • Ar, sangue e suor – agentes de transporte de calor. • Energia = atividade, movimento. • Calor fluido; calor feito; calor transformação. 	<ul style="list-style-type: none"> • O corpo conserva seu calor – o isolamento da pele impede o contato com ar frio. • Primeiras noções de fluxos de energia, sem transformação e sem conservação. • Calor – agente causal (causalidade dinâmica ou eficiente). • Causalidade linear múltipla.

Neste nível, o progresso mais evidente reside na relativização dos observáveis: frio e quente passam a ser entendidos como termos de comparação e não, como qualidades opostas dos materiais, ou como substâncias distintas do calor. Essa mudança, aparentemente trivial, é expressão de um olhar dirigido não mais aos objetos em si, mas às suas relações, às transformações e eventos de que participam. Desse modo, a assimilação recíproca das noções de quente e de frio permite a construção de um sentido único para os fluxos de calor. Além da aceitação da imagem de calor como um fluido, contido nos corpos, dissipando-se no ambiente, propagando-se através dos materiais e sendo por eles transmitido, o calor passa a ser considerado, também, como um agente de

transformações. É como relação que o calor se manifesta, mesmo que lhe seja atribuído o estatuto de uma qualidade ou estado dos materiais.

Consideremos estes exemplos:

E29-“(...) As nossas mãos e pés têm uma temperatura mais alta que o ambiente e mais baixa que o nosso corpo, porque, quando o sangue chega a eles ele já perdeu muito calor. Assim, transfere menos para mãos e pés.” (Fre, Teste 2, questão 4)

E30-“Continuamos a transferir calor para o ambiente. Só que, ao perdermos esse calor, o perdemos através do suor e da perda de outros líquidos também.” (Liv, Teste 2, questão 4b)

E31-“A energia significa algo que movimenta outra coisa, e o calor tem essa definição.” (Liv, Teste 2, questão 5b)

A temperatura é o observável mais evidente à disposição quando se trata de realizar as primeiras coordenações centradas nas transformações térmicas. Nesse nível de elaboração, em geral, predominam as suposições, implícitas ou explícitas, de que a temperatura é a medida do calor. Assim, a diferença de temperatura entre objetos em contato passa a ser o único aspecto a ser considerado na avaliação da intensidade das transferências de calor. Essa ênfase na medida indica uma filiação empirista a tal elemento do perfil do conceito de calor, por oposição à filiação sensorialista do nível precedente⁸, segundo a evolução do perfil das noções de atomismo investigadas por MORTIMER (2000).

A indiferenciação entre calor e temperatura manifesta-se de diferentes modos, com coordenações parciais indicando uma construção em processo. Para alguns alunos, os termos têm o mesmo significado e seu uso é absolutamente indiferenciado; para outros, o calor é usado para descrever mudanças e a temperatura, para designar estados, embora suponham que uma mesma variação de temperatura envolve sempre igual quantidade de calor, independentemente dos materiais aquecidos.

Vejam-se estes exemplos:

E32-“O ferro [de solda] está constantemente recebendo energia, mas quando chega numa certa temperatura, o ferro não consegue transferir a energia em temperatura.” (Luc, Teste 2, questão 1b)

E33-“O calor é uma energia e a temperatura não. Geralmente, para todas as ocasiões, eu uso a palavra ‘calor’.” (Luc, Teste 2, questão 5)

⁸ Nesse caso, as diferenciações entre empirismo e sensualismo fazem-se de acordo com a interpretação de Bachelard em sua *Filosofia do Não*, obra que serviu de inspiração à noção de “perfil conceitual” proposta por Mortimer (1994).

E34– “... a ardósia é melhor condutora de temperatura. Por isso sentimos sua temperatura mais claramente, mesmo que ela seja igual à da madeira.” (Rai, correção do Teste 1, questão 2)

E35 – “É verdadeiro, porque transferimos a nossa temperatura, que é mais elevada, para o ambiente.” (Edu, Teste 1, questão 1.1)

E36–“Não... Vai transferir o calor que ele tem, né? Mas se ele e a água tiverem a mesma temperatura, eles vão transferir o mesmo tanto de calor. Só que o prego é mais rápido, porque a água vai estar ali, numa vasilha, e a superfície dela... Vai ser assim... Ela vai começar transferindo calor do que... da água que está em cima. Ai, vai perdendo, vai indo abaixando... O prego, como ele está todo lá, tem ar em volta dele todo. Com o prego, então, eu acho que vai ser mais rápido.” (Fre, Entrevista, comparando as transferências de calor para o ambiente de um prego e um litro de água aquecidos)

E37–“Os dois [conceitos de calor e temperatura] são relativos. Temperatura.. tipo assim, é temperatura mesmo. Calor é o que a gente denomina calor e frio, mas é a variação da temperatura. Quando a temperatura está alta, você fala calor e, quando a temperatura está baixa, você fala que é frio. Então, o que importa mesmo é o conceito de temperatura. Calor é só uma variação desse conceito.” (Rai, Entrevista)

Outra manifestação dessa indiferenciação entre temperatura e calor consiste em deduzir que, sendo constante a produção de calor, a temperatura será também constante. De fato, se o calor, assim como a temperatura, é tomado como estado dos materiais e não, como processo de aquecimento, a produção constante de calor não poderia resultar em elevação de temperatura, mas em sua manutenção. Nesse caso, o estudante sequer menciona ou considera aspectos relativos à transferência de calor do organismo para o meio.

Observem-se estes exemplos:

E38–“[A manutenção da temperatura corporal] é possível, porque as células, independente de fatores externos, produz uma quantidade de calor sempre constante, o que faz com que a temperatura interna do nosso corpo mantenha-se a mesma, independente de fatores externos.” (Bru, Pré-teste, questão 1)

E39– “É possível, pois perdemos o mesmo tanto de energia tanto no frio quanto no quente, pois também produzimos a mesma quantidade de energia.” (Fred, Pós-teste, questão 1)

E40– “É possível, porque o sangue está em constante atrito com as veias e artérias.” (Grupo de Aug, Cam, Edu, Luc e Vin, Pré-teste, questão 1)

Com relação às hipóteses sobre os processos de transferência de calor, classificamos nesse subnível aquelas manifestações que implicam a necessidade de um “veículo material” para o transporte de calor (CAFAGNE, 1996), papel que cumprem o suor, o ar e o sangue. Além disso, qualquer transferência de calor é, frequentemente, acompanhada de raciocínios não-conservativos, como se pode observar nestes exemplos:

E41-“Se ambas temperaturas, corporal e do ambiente, estão elevadas, precisamos de liberar uma maior quantidade de calor, e isso ocorre quando suamos e esse calor evapora, o calor também é ‘evaporado’.” (Edu, teste 2, questão 4b)

E42-“O que nos deixa aquecidos é o ar que está entre o agasalho e nosso corpo, que nós mesmos o aquecemos.” (Fre, Teste 1, questão 1.4)

E43-“Os filhotes de pingüim imperador fazem isso para trocarem energia entre eles e, com esse ‘acúmulo’ de energia, chegarem em uma temperatura maior.” (Cam, Teste 2, questão3)

E44-“Eles [os pingüins] vão transferir calor um para o outro e para o ar em volta deles, assim sentindo um aquecimento.” (Deb, Teste 2, questão 3)

E45-“A temperatura interna do nosso corpo é constante, porque, quando nos alimentamos, o alimento é convertido em calor, não deixando a temperatura interna do nosso corpo variar” (Adr, Teste 2, questão 4c)

E46-“O ferro de solda recebe calor da eletricidade e sua temperatura aumenta.” (Cam, Teste 2, questão 1)

As transformações de energia ou são ignoradas ou são tratadas como uma espécie de “*transmutação*” (ROSA & SCHENETZLER, 1998), em que materiais se convertem em energia. Tais dificuldades, reiteradamente manifestadas nas produções dos alunos nesta pesquisa, também convergem com os resultados de Cafagne, para quem “*no senso comum, o calor parece não requerer transformação da energia*” mas apenas “*transporte do calor-substância de um sistema para outro*”(CAFAGNE, 1996, p.36). Assim, calor é concebido como energia, já que, como esta é associada ao movimento e à ação, embora não obedeça aos dois principais requisitos do conceito científico de energia: a transformação e a conservação. A associação do conceito de calor com o atrito e o movimento parece estar na origem de hipóteses de produção de calor a partir da circulação sanguínea.

Além desses problemas, a falta de generalidade nas proposições sobre o sentido das transferências de calor foi utilizada como critério para a definição desse subnível. Primeiro, em decorrência de uma dedução incompleta: se a sensação do frio resulta da transferência de calor do organismo para o meio, admite-se que a sensação de calor seja, ao contrário, conseqüência de transferências de calor do meio para o organismo. Por outro lado, as relações de animais homeo e heterotermos com o meio são simplificadas, negando-se a possibilidade de inversão de fluxo, recusando-se a possibilidade de ocorrência simultânea dos dois processos, quando o corpo, ao mesmo tempo, irradia e absorve calor do meio. Acrescente-se que a própria proposição de que sempre transferimos calor ao meio é posta em causa, na medida em que isso resultaria em diminuição de temperatura.

E47-“A temperatura da pele aumentará um pouco, porque o ambiente irá transferir mais calor para o corpo.”(Cam, ao descrever o que acontece com o corpo humano quando a temperatura do ar está a 32°C, Teste 2, questão 4b)

E48-“Homeotermos: o corpo transfere calor e não recebe; heterotermos: o corpo só recebe calor e não transfere.” (Luc, Teste 2, questão 2)

Finalmente, mesmo admitindo a igualdade final de temperaturas, as diferentes sensações ao tato podem sugerir, em alguns casos, a sua negação, embora acompanhadas pela relativização dos estados térmicos:

E49- “Seu pé está mais frio que a madeira, que parece estar mais quente; e mais quente que a ardósia, que parecerá mais fria.” (Tol, Teste 1, questão 2)

E50- “A ardósia é mais fria que a madeira, porque a madeira é uma boa condutora de calor, que recebe e perde calor muito rapidamente.”(Edu, correção do Teste 1, questão 2)

IIB – Primeiras Generalizações.		
Produção e transferências de energia nos organismos: progressos sem integração		
Aspectos Intra (Descrição)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Condutores e isolantes térmicos ; anexos da pele. • Transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalização do equilíbrio térmico como estado após interações. • Formas de transferência de calor; mecanismos que reduzem essa transferência. • Primeiras diferenciações entre calor e temperatura. • Fatores que interferem na quantidade de calor transferido e de calor produzido. • Temperatura como termo de comparação. • Calor como forma de energia; calor transformação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferimos sempre energia para o ambiente na forma de calor. • Energia como agente causal – aquilo que faz acontecer. • Ausência de sistema para explicar equilíbrios dinâmicos e processos de regulação. • Explicação de sensações térmicas como decorrentes de taxas de transferências de calor entre organismo e meio. • Primeiras deduções: $Dt \ll Q$ $não Dt \ll não Q$ (exceto nas mudanças de estado físico)

O que caracteriza o subnível IIB e o diferencia do precedente é o grau ampliado de generalidade de suas proposições, que indica um número crescente de relações e a presença de um sistema dedutivo em construção, como se vê nestes exemplos:

E51- “À medida em que o café esfria, ele transfere calor para o ambiente. E quando assopramos o café, ele se esfria mais rapidamente, porque o ar é deslocado e sempre renovado.” (Tia, Pós-teste, questão 6)

E52- “A temperatura é igual, porque haverá transmissão de calor e, depois de um certo tempo, a temperatura se equilibrará e continuará caindo.” (Ram, Pós-teste, questão 7)

E53- “Como exemplo [de que transferimos sempre energia para o ambiente na forma de calor], temos o fato de que, quando colocamos algum agasalho, nosso corpo libera calor, mantendo o ar (que não se renova) quente.” (Hud, Teste 1, questão 1)

E54- “Isso acontece, porque a pele está servindo de ‘intermediária’, está em contato com as duas temperaturas, fazem uma ligação para a troca de energia.” (Cam, Teste 1, questão 4.a)

Enquanto, anteriormente, as diferenças entre temperatura da pele e temperatura interior eram apenas constatadas ou inferidas a partir do “contato com o ambiente”, passam, nas mesmas circunstâncias, a ser deduzidas, pois o sistema causal, bem estabelecido, opera do efeito para a causa ou, inversamente, da causa para o efeito. Assim, se há transferência de calor, supõe-se que sejam decorrentes de diferenças de temperatura; ao contrário, se admitidas as diferenças de temperatura, conclui-se haver transferências de calor do interior do corpo para a pele e desta para o ambiente.

No que se refere às diferenciações entre calor e temperatura, mesmo que ainda se observem dificuldades e lacunas nas enunciações, os progressos consistem em diferenciar o “nível” e a “quantidade” de calor envolvido, em admitir graus de “concentração” de calor ou, ainda, simplesmente em constatar, a partir de experiências efetuadas, as diferenças entre quantidade de calor transferido e as variações de temperatura que este acarreta:

E55- “Calor: forma de energia que é transmitida; temperatura: unidade usada para medir o nível de calor de um objeto.” (Hud, Teste 2, questão 5)

E56- “Calor é uma forma de energia e temperatura é um termo comparativo da intensidade do calor entre dois corpos. É errada a forma como usamos as palavras ‘calor’ e ‘temperatura’ no cotidiano, como se temperatura fosse medida de calor.” (Jul, Teste 2, questão 5.a)

E57- “Calor é a energia emitida por algo ou alguém e temperatura é a medida da quantidade de calor emitido (em graus). Um corpo que produz ou recebe energia tem que liberá-la, o que faz transferindo calor.” (Tol, Teste 2, questão 5)

E58- “Quando a temperatura ambiente é alta, transferimos menos energia e ela se concentra. Sentimos calor. Quando há necessidade de que essa energia seja liberada, nós suamos.” (Rai, Teste 2, questão 4b)

E59- “Na linguagem cotidiana, os conceitos de calor e temperatura misturam-se, mas sabemos que um não corresponde ao outro. Podemos ver casos que o calor é diferente, mas a temperatura é a mesma. Por exemplo, um ebulidor faz a água chegar ao ponto de

fervura, 98° C. Se introduzirmos outro ebulidor, teremos o dobro de calor, porém a temperatura continuará a mesma.” (Van, Teste 2, questão 5)

Ao contrário dos níveis precedentes, o equilíbrio térmico é previsto e corretamente interpretado, mesmo quando as sensações ao tato indicam o oposto, o que representa uma subordinação das abstrações empíricas, constatadas no plano da experiência física, às abstrações reflexionantes, inferidas a partir das coordenações entre os esquemas em jogo:

E60- “O piso de ardósia recebe mais calor do nosso corpo, portanto, ao sentirmos o piso de ardósia mais frio que o de madeira, isso quer dizer que nós estamos transferindo mais calor pro piso de ardósia do que pro piso de madeira.” (Lua, Teste 1, questão 2)

E61- “Porque a ardósia é mais rápida pra receber o calor do corpo e a madeira não. Por isso achamos que a ardósia é mais fria que a madeira.” (Car, Teste 1, questão 2)

Lembremos então a principal lacuna deste nível de entendimento, que o diferencia do nível seguinte. Embora os estudantes façam, no caso, vários progressos quanto aos fatores que interferem nos processos de produção e de transferência de energia entre o organismo e o meio, não existe, ainda, uma estrutura geral que componha esses dois processos, de modo que constituam hipóteses sobre o balanço energético nos organismos. Vejamos, então, alguns exemplos:

E62- “A temperatura do ar em volta da pele é menor [do que a temperatura da pele], porque o corpo está constantemente transferindo calor para o ambiente. E é menor do que a temperatura corporal, porque o organismo está constantemente transferindo calor.” (Luc, Teste 2, questão 4.a)

E63- “A temperatura das extremidades do nosso corpo é menor do que a do interior do nosso corpo, porque estas extremidades estão longe e, até o corpo conduzir calor até lá, a temperatura já baixou. E a temperatura do ar é menor do que das extremidades é porque ela continua recebendo calor. Quando a temperatura do ar está elevada, a pele se encontra em uma temperatura aproximadamente igual a do interior do nosso corpo. Isto acontece porque as extremidades do nosso corpo transfere menos calor.” (Max, Teste 2, questão 4.a e 4.b)

E64- “Isso ocorre porque nós produzimos energia no nosso organismo, constantemente, e a questão é, quando está frio, esse recurso é mais utilizado e, quando está quente, utilizamos menos esse recurso.” (Edu, Teste 2, questão 4c)

E65- “Em dias de calor, em que o ambiente está mais quente que o nosso corpo, recebemos calor dele e liberamos através do suor. O ventilador vai movimentar o ar que está em torno do nosso corpo mais rápido, não dando tempo do ar transferir muito calor para nosso corpo.” (Tol, Pós-teste, questão 2)

Nas enunciações 62 e 63, Luc e Max deduzem as diferenças de temperatura da pele, do ambiente e do interior do organismo a partir das transferências de calor, o que significa deduzir a causa a partir de seus efeitos. Entretanto não mencionam o fato de

existir uma fonte de energia e, portanto, de não se esgotar esse processo incessante de transferência. Edu, ao contrário (E64), ao tentar explicar a manutenção da temperatura corporal em situação em que esta é inferior à temperatura ambiente, cita os processos de produção de calor, embora ignore as transferências ao meio, o que é insuficiente para resolver o problema. Ao supor essa mesma condição, Tol (E65) sugere que o vento refresca por diminuir – e não, por aumentar – as interações térmicas entre organismo e ambiente.

Talvez seja instrutivo considerar casos intermediários, em que os sujeitos são capazes de considerar simultaneamente os dois processos, ainda que lhes falte atribuir uma operação de “comutabilidade”⁹, compreendendo que parte da energia que se acrescenta por meio do metabolismo lhe é subtraída pela transferência de calor ao ambiente, para manter constante a temperatura.

E66-“Assim como o corpo humano, o ferro transmite uma contínua e em maior quantidade de calor para o ambiente, e por isso eles se assemelham. E eles se diferenciam porque o corpo transfere essa energia com a produção de energia que ocorre em nosso corpo, e o ferro precisa de energia elétrica para fazer isso.” (Edu, Teste 2, questão 1c)

E67- “O ferro de solda, assim como o nosso corpo, estava recebendo calor em muita quantidade e passando menos calor para o ambiente.” (Cam, Teste 2, questão 1c)

E68-“Há um certo momento em que o ferro de solda não transforma mais energia em calor. O corpo humano está sempre produzindo energia e transferindo para o ambiente; o mesmo acontece com a tomada, que nunca pára de produzir energia.” (Raf, Teste 2, questões 1b e 1c)

Seria possível admitir, com Edu e Cam (E66 e E67), que a quantidade de energia produzida pelo organismo é maior do que a quantidade de calor dissipado, mas o mesmo não procede no caso do ferro de solda. Ao que parece, esses alunos não trabalham com a hipótese de conservação da energia, mas apenas comparam os efeitos dos dois processos – produção e transferência de energia – a partir de alguns indícios. Nesse caso, o fato de a temperatura do corpo humano, assim como a do ferro de solda, ser mais elevada que a temperatura ambiente parece ser um indício que permite supor

⁹ Em PIAGET (1976), são investigados os mecanismos e operações que permitem à criança a atribuição de conservação de massa quando deformam uma bolinha de matéria plástica. Acompanhando os casos intermediários, o autor destaca o fato de que, antes de atingirem a estrutura de conservação, alguns sujeitos são já capazes de destacar a solidariedade da ação de esticar e de afilar a bolinha. Entretanto faltam-lhes a ligação necessária de que aquilo que se acrescenta à extremidade do cilindro é igual ao que foi retirado de outra parte. Essa operação, que ele denomina “comutabilidade” consiste na ultrapassagem das concentrações do pensamento sobre as modificações do objeto em sua continuidade. Acreditamos estar diante dos mesmos processos de formação, embora com conteúdos distintos e com um grau de abstração infinitamente superior.

ser a quantidade de energia produzida maior que a quantidade de calor transferido para o ambiente. Assim, o que lhes falta para compor um sistema completo de compensações é uma hierarquia que ordene e subordine as relações entre os conceitos envolvidos, compondo uma estrutura teórica que dite os modos como o sistema procede. Na ausência deste, e diante do dinamismo dos fenômenos que investigamos, Edu e Cam se aproximam, mas não conseguem resolver satisfatoriamente o problema. Quanto a Raf (E68), a suposição de que o ferro de solda, embora continue “produzindo” energia, não a transforma em calor parece indicar um olhar dirigido a ocorrências localizadas no objeto – o ferro de solda, que não se aquece além de uma certa temperatura – e não, nos sistemas em interação – ferro de solda e ambiente.

Nível III - Sistemas integrados, com estruturas de conservação e regulação

III A - Equilíbrio estático e dinâmico integrados em um único sistema explicativo (acordo entre afirmações e negações)		
Aspectos Intra (Descrição/Observáveis)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Anexos de pele e sistemas de regulação/ controle • Sangue: duplo papel – transporte de substâncias para produção de energia; transporte de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilíbrio estático e dinâmico – Por que a temperatura se mantém constante? • Produção de calor e transferência de calor – fatores intervenientes. • Indiferenciação entre calor dissipado e energia total produzida pelos organismos. • Homeotermos e heterotermos – intensidade de fluxos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Balanço energético. • Conservação da energia associada ao fluxo, mas não às transformações. • Custo energético da homeotermia – contradições quanto à produção de calor em heterotermos .

O que caracteriza o nível III é o fato de compor um sistema integrado de compensações, que permite explicar a manutenção de temperatura tanto em situações estáticas, ou aparentemente estáticas, quanto em situações dinâmicas, ou seja, em sistemas abertos. As condições para ocorrência do equilíbrio térmico são, nesse nível, explicitamente consideradas, e isso é feito a partir da comparação entre o que se ganha e o que se perde em termos de energia.

Os fatores que intervêm nos processos de produção e transferências de energia nos organismos são cuidadosamente examinados, muito embora, às vezes, de modo ainda lacunar – uma das falsas generalizações reside na suposição de que a intensidade das transferências de calor depende apenas do gradiente de temperatura entre organismo e meio. Um progresso, nesse caso, consiste em compreender que o sangue, além de distribuir, ou transportar, energia na forma de calor, é veículo de transporte de materiais – nutrientes e oxigênio – para a respiração celular.

Entretanto as novas diretrizes impõem uma série de problemas às coordenações assimétricas e hierárquicas esquema–estrutura. Assim, destacamos, nesse subnível IIIA, manifestações dos estudantes que revelam lacunas e contradições. A par do problema, acima mencionado, o de se lidar com situações multicausais, o que é sempre um desafio renovado aos sistemas explicativos dos estudantes, a generalidade do princípio de conservação da energia é negada quando o sujeito se depara com situações novas e perturbadoras. Nesses casos, os estudantes lançam mão de outras tentativas de coordenação e parecem não ter consciência de que elas envolvem raciocínios não-conservativos. Numa dessas situações, o problema reside em saber como a temperatura corporal se mantém quando a temperatura ambiente lhe é superior:

E69-“Isto ocorre porque nosso corpo, como passou a absorver energia do ambiente, ele diminui em grande quantidade a respiração celular.” (Hud, Teste 2, questão 4c)

E70-“O nosso corpo passa a produzir mais calor.” (Leo , Teste 2, questão 4c)

Outro problema consiste em aplicar corretamente o princípio de conservação a situações que envolvem fluxos de energia, mas não a processos de transformação de energia, entendidos como “produtivos” de fato. Talvez a principal lacuna esteja em ignorar as transformações de energia que acompanham as reações químicas, como, também, em conceber que o calor pode se converter em outras formas de energia. Vejamos, por exemplo, o seguinte trecho da entrevista de Hud, em que, após uma exploração mais livre do tema, provocamos, sem sucesso, uma formulação mais precisa:

Hud: Energia não se destrói nem cria, que ... está transmitindo energia pro ambiente... Ai vai ficar no ambiente... Só isso

Entr.: A energia... a gente fala que... nosso organismo produz energia, né? Mas, na verdade, essa produção não veio do nada. Já existia antes. Antes existia como? Como é essa história da conservação da energia? Se eu estou produzindo, como é que ela se conserva?

Hud: Não sei...

Entr. :De onde vem essa energia? Você acha que calor pode ser transformado em outros tipos de energia?

Hud: Calor? Não...

Outra forma de assimilação deformante reside na indiferenciação entre equilíbrio térmico, relativo à igualdade final de temperaturas, e equilíbrio energético, que se refere à igualdade nos fluxos de energia entre sistema e vizinhança. Parece-nos importante destacar que, do ponto de vista da termodinâmica, o equilíbrio energético em sistemas abertos conduz à negação do equilíbrio térmico. No entanto, uma vez admitido o equilíbrio energético, os sujeitos deduzem incorretamente o equilíbrio térmico:

E71-“A temperatura do ferro se estabilizou porque ele começou a transmitir energia na mesma quantidade que ele recebia da fonte. [...] O ferro, depois de um certo momento, ele começa a transmitir calor na mesma quantidade que ele recebe da fonte. O que não acontece com o ser humano, que sempre tem uma temperatura diferente com o meio. Ou seja, nós transmitimos ou recebemos calor, mas nunca entramos em equilíbrio com o meio.” (Dan, Teste 2, questão 1b e 1c)

E72-“Isso ocorre, porque o ferro está transferindo e recebendo a mesma quantidade de calor. Podem ser comparados [corpo humano e ferro de solda], eles produzem calor e passa para o ambiente até chegar em equilíbrio térmico, mas se diferenciam no jeito que eles produzem o calor.” (Vin, Teste 2, questão 1b e 1c)

Finalmente, observamos, ainda, uma indiferenciação entre a produção total de energia pelo metabolismo e a quantidade de calor dissipado. A não-consideração dessa diferença faz pensar que o calor transferido para o ambiente consiste na energia utilizada pelos organismos em suas atividades internas e na realização de trabalho. Para exemplificar tais dificuldades, comparamos as hipóteses da aluna Tol, que parece ter tomado consciência dessa diferenciação, e a de dois de seus colegas:

E73-“Ele [o ferro de solda] vai estar recebendo a mesma quantidade de energia que estará liberando. O corpo sempre estará produzindo energia e liberando calor, mas não em quantidades iguais.” (Tol, Teste 2, questão 1b e 1c)

E74-“Nosso corpo produz continuamente energia e transfere o mesmo tanto que produz. Por isso, está sempre à mesma temperatura.” (Ann, Teste 2, questão 4c)

E75-“A energia é transformada através da respiração celular e liberada para o meio.” (Hud, Teste 2, questão2)

IIIB - Sistemas dedutivos coerentes; conservação de energia		
Aspectos Intra (Descrição/Observáveis)	Aspectos Inter (Relações/Transformações)	Aspectos Trans (Modelos/Teorias)
<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciação/integração entre órgãos e sistemas. • Organismo – atividade interna; conexões, respostas e <i>feedback</i>. 	<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. 	<ul style="list-style-type: none"> • Situações examinadas a partir da hipótese geral de conservação de energia. • Sistemas de regulação – ação do organismo para manutenção do balanço energético (sistema de compensações completo). • Diferenciação entre modelo e realidade.

A novidade em relação ao subnível precedente pode ser constatada nas tentativas, nem sempre bem sucedidas, é certo, de compor explicações que não violem os princípios de conservação de energia e de transferência de energia entre sistemas a diferentes temperaturas. Além disso, os sujeitos parecem tomar consciência de um conjunto de atividades internas e reguladoras do organismo em suas interações com o ambiente, de modo que se mantenha seu equilíbrio, mesmo sob variações das condições físicas do meio. Essa síntese não seria possível sem a consideração dos processos de transferência de calor, elaborados ao longo do nível II, e da hipótese de conservação da energia, examinada desde o subnível IIIA. Damos, a seguir, exemplos de manifestações que expressam essa forma de entendimento, julgada amplamente satisfatória em relação ao nível de abordagem dos conteúdos pelo ensino:

E76-“Porque, com a temperatura baixa, há uma contração nos vasos sanguíneos, fazendo menos sangue circular nas extremidades, deixando-as ‘frias’ em relação ao interior do corpo.” (Hud, Teste 2, questão 4a)

E77-“Acontece que ele fica numa temperatura mais elevada, por causa da pouca liberação de calor para o ambiente. Então você começa a suar, porque o suor absorve muita energia para evaporar.” (Hud, Teste 2, questão 4b)

E78-“Para que a temperatura do nosso corpo continue a mesma, transpiramos, já que, com a evaporação do suor, há um gasto grande de energia, possibilitando que, mesmo com a produção constante de energia, nossa temperatura continue a mesma.” (Jul, Teste 2, questão 4c)

E79-“Calor é processo de transferência de energia entre dois ou mais corpos, sempre do mais quente para o mais frio. É um conceito relativo, isto é, só pode ser considerado quando relacionamos dois ou mais sistemas. [...] Nada é frio e nada é quente absolutamente. A diferença é que os corpos de temperatura mais alta em relação a outro é capaz de transmitir energia.” (Cri, Teste 2, questão 5; grifos da aluna)

Capítulo 5 - Repensando o Ensino a partir de Reflexões sobre a Aprendizagem: Examinando Alguns Casos

Neste capítulo, desenvolvemos uma análise de indicadores de aprendizagem de alguns estudantes ao longo do curso, com o objetivo de propiciar uma reflexão acerca da prática docente, avaliando o mérito das decisões tomadas e dos procedimentos adotados. Desse modo, pretendemos qualificar a prática, porque objeto de reflexão constante e renovada, e aumentar o repertório de saberes episódicos que alicerçam a compreensão dos mecanismos de aprendizagem em ambiente escolar.

Segundo THORLEY & WOODS (1997), estudos de caso relacionados à aprendizagem de estudantes configuram um procedimento de pesquisa que, vinculado à ação docente, permite a compreensão de características do ensino voltadas para a aprendizagem por mudança conceitual. Em primeiro lugar, esses estudos possibilitam analisar, com maiores detalhes, “trajetórias cognitivas” (SILVA, 1995) de alguns estudantes, de forma que se evidenciem obstáculos e progressos, bem como compromissos, valores e estratégias de aprendizagem. Além disso, por serem representativos de um conjunto e escolhidos de maneira intencionada, autorizam comparações por contraste, que evidenciam a heterogeneidade dos processos cognitivos deflagrados nos diversos sujeitos, permitindo destacar as dimensões pessoal e social da aprendizagem escolar. De acordo com Thorley e Woods, *“além de fornecer aos professores avaliações detalhadas de determinados alunos e conceitos, uma abordagem como esta pode contribuir, significativamente, para a avaliação de uma proposta educacional e de processos mais gerais de aprendizagem e compreensão”* (1997, p. 242). De modo coerente com o propósito e o objeto desta pesquisa, a análise desenvolvida está centrada na reflexão sobre os processos de ensino concebidos a partir de perspectivas construtivistas sobre o conhecimento e a aprendizagem escolar.

5.1. Critérios Utilizados na Seleção da Amostra

Uma vez definida a metodologia e os instrumentos de coleta de dados, a análise destes permitiu acompanhar percursos singulares, que revelam os modos como os estudantes se apropriam do saber escolar e o transformam, incessantemente, para compreender. Vamos examinar alguns desses trajetos, procurando pistas para uma reflexão a respeito do ensinar e do aprender ciências, da busca de convergência entre os

significados atribuídos pelo ensino e pela aprendizagem, do correto delineamento e ajuste das metas e propósitos do ensino às possibilidades e necessidades formativas dos educandos.

Entretanto deparamo-nos com uma questão crucial: não seria possível analisar em profundidade os percursos da totalidade dos estudantes com os quais interagimos ao longo desta pesquisa. Essa questão sugere, portanto a delimitação de um perfil e de um número de sujeitos a serem objeto de uma atenção especial.

Quando desenhamos a metodologia da pesquisa, imaginamos acompanhar as produções do conjunto dos alunos de uma turma de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG e, com maior profundidade, os estudantes de um dos grupos da turma, que teria seu trabalho registrado em gravações de vídeo e submetidos a entrevistas ao final do curso. Compreendemos, porém, que esse pequeno grupo não era representativo do conjunto a ser investigado nem, tampouco, permitia situar os contrastes que pretendíamos destacar.

Isso nos levou a decidir por um critério a ser adotado: a diversidade tanto de pontos de partida e de chegada, quanto de posturas, interesses e estratégias de aprendizagem. Uma das vantagens dos estudos de casos como metodologia de pesquisa consiste na possibilidade de se estabelecerem comparações e se examinarem singularidades, destacando o caráter simultaneamente pessoal e social da aprendizagem escolar.

Além disso, era preciso obter dados suficientemente completos e abrangentes que permitissem uma análise de conteúdo das representações em diferentes momentos do curso por meio de diferentes instrumentos de coleta. Assim, alunos que não tivessem respondido ao Pré-teste, que tivessem sido por demais lacônicos em suas respostas aos testes, que não tivessem sido entrevistados, ou cujas entrevistas revelassem pouco sobre os conteúdos de suas crenças e concepções não deveriam compor a amostra da pesquisa.

A entrevista configura-se um claro limitador das possibilidades. Não tivemos condições de entrevistar todos os alunos e, a partir de determinado momento, sentimos estar diante do mesmo conjunto de dados, o que nos levou a interromper a coleta e passar à análise dos dados. Desse modo, concluímos 19 entrevistas – duas das quais com problemas técnicos na gravação –, de uma turma composta por 34 alunos. É evidente que selecionamos aqueles alunos que, em nosso julgamento, naquele momento,

poderiam nos fornecer dados adicionais àqueles que já havíamos coletado. Por outro lado, nem todas as entrevistas foram “produtivas” no sentido de configurar um clima de confiança e interesse que validassem os dados levantados. Terminamos, assim, por escolher, do conjunto de dados à disposição, os mais representativos e diversificados no que se refere aos processos cognitivos envolvidos.

Entretanto os critérios de diversidade, representatividade e completitude não são suficientes para delimitar aqueles “casos” a serem examinados detalhadamente. Lembremos que o que caracteriza os estudos de caso como metodologia de pesquisa é a investigação de ocorrências singulares e especiais, pouco comuns, que devam receber um exame meticoloso. Assim também, ao selecionar “casos”, procuramos destacar sujeitos que apresentassem trajetórias especialmente singulares, que propiciassem reflexões por suas peculiaridades, pelo seu caráter inusitado.

Nessa seleção, procuramos destacar percursos diversos com relação aos pontos de partida e de chegada. Assim, Alex vai do nível I, no Pré-teste, ao nível III, com algumas lacunas e problemas decorrentes de coordenações esquema-esquema, de nível II; Leonardo, também chega ao nível III, mas seu ponto de partida é o nível IIA; Fabiana parte do nível I e há evidências de progressos parciais em direção ao nível IIA; Renato parte do nível II e apresenta progressos no interior do mesmo nível de entendimento, apenas consolidando e tornando mais robusta sua visão da realidade.

Embora pequeno, consideramos esse número de casos suficiente para o exame da heurística do modelo de ensino proposto no que diz respeito aos processos de avaliação da aprendizagem, assim como para o desenvolvimento de reflexões sobre as estratégias de ensino e as tomadas de decisão definidas ao longo do processo.

5.2. Quadro Geral do Desenvolvimento Conceitual dos Estudantes

Antes de examinar em detalhes as trajetórias dos estudantes selecionados, convém destacar, de modo geral, o desenvolvimento cognitivo da turma, ao longo do curso. No Quadro 3, apresentamos os dados correspondentes, destacando, para cada estudante, os níveis de entendimento que predominaram em cada momento de avaliação do curso – Pré-teste, Teste 1, Pós-teste, Teste 2 e Entrevista. As cinco primeiras colunas desse quadro indicam as formas de pensamento predominantes em cada uma das

avaliações, enquanto a última delas sinaliza as mudanças observadas, apresentando o nível predominante ao início e ao final do curso – por exemplo, IB – IIB.

No quadro, o símbolo SI indica ausência de informações: uma aluna (Dan) faltou à primeira aula, em que foi aplicado o Pré-teste, e outros quatro – Cam, Edu, Luc, e Vin –, que faziam parte de um mesmo grupo, entregaram apenas a versão coletiva dessa avaliação. No Teste 1, faltaram dois alunos – Ren e Van –, enquanto as respostas do aluno And, na mesma ocasião, foram dadas de modo tão incompleto e lacunar que não nos permitiu fazer qualquer inferência. Na Entrevista, como dissemos, foram entrevistados 19 estudantes, com ressalvas na gravação dos dados de Lud e Cri, a cujos dados nos reportamos em função de anotações pessoais, feitas logo após a entrevista. Os símbolos IA, IB, IIA, etc. indicam os níveis de entendimento tais como apresentados no capítulo precedente¹.

Observamos, ainda, em boa parte das avaliações, a manifestação de dois níveis, ou subníveis, de conhecimento simultâneos². A convivência entre duas formas de conhecimento, em um mesmo momento de avaliação, foi indicada com uma barra, que representa a transição entre níveis, com predomínio daquele indicado em negrito (por exemplo, **IA**/IIA). Em outros casos, avaliamos tais produções não como transição, mas enquanto alternância entre formas de pensamento distintas, em função daquilo que era solicitado ao estudante. Neste caso, utilizamos duas barras (por exemplo, **IA**//IIA), mantendo o mesmo recurso do negrito para destacar a forma de entendimento predominante.

¹ Para a descrição dos níveis, recomendamos a leitura da seção 4.4. De maneira geral, os níveis I, II e III correspondem às etapas intra, inter e trans-objetais, cada uma delas separadas em dois subníveis, em que se destacam elementos de transição para os níveis seguintes.

² Em alguns casos, notamos manifestações esporádicas de uma terceira forma de entendimento, que não foi, entretanto, introduzida no quadro para não sobrecarregar demasiadamente sua leitura.

Quadro 3 – Evolução dos Níveis de Entendimento dos Alunos da Turma

Aluno(a)	Pré-teste	Teste 1	Pós-teste	Teste 2	Entrevista	Mudança
Adr	IA	IA // IIA	IIA / IIB	IIA	SI	IA - IIA
Ale	IB	IIA / IIB	IIB	IIA // IIIA	IIA // IIIB	IB - IIIB
Fab	IB	IB // IIA	IB // IIA	IIA / IIB	IB // IIA	IB - IIA
And	IA	SI	IA / IIA	IA / IIA	SI	IA - IA
Ann	IB // IIA	IIA	IIIA	IIIA	SI	IIA - IIIA
Bru	IIA	IIB	IIB	IIA	SI	IIA - IIB
Aug	IB // IIA	IB / IIA	IB // IIB	IB / IIA	SI	IB - IIA
Cam	SI	IB // IIA	IB // IIA	IIA	SI	IB - IIA
Car	IA / IB	IB // IIA	IB // IIA	IA / IIA	SI	IA - IIA
Cri	IIA	IIA / IIB	IIIB	IIIB	IIIB	IIA - IIIB
Dan	SI	IB // IIA	IIIA	IIIA	IB // IIA	? - IIA
Dav	IB // IIA	IIA	IIA // IIIA	IIA // IIIA	SI	IB - IIIA
Deb	IB	IB / IIA	IB // IIA	IB // IIB	IIA	IB - IIA
Edu	SI	IB	IB // IIB	IIA / IIB	IIA // IIIB	IB - IIB
Fre	IB // IIA	IB / IIA	IIA	IIA / IIB	IIA	IB - IIA
Hud	IB // IIA	IB // IIA	IIIB	IIIB	IIA / IIIB	IIA - IIIB
Jul	IB // IIA	IIB	IIB	IIIB	IIIA	IB - IIIA
Kri	IA	IB / IIA	IIA	IA / IIA	IIA / IIB	IA - IIA
Leo	IIA	IIB	IIB	IIIA	IIIA	IIA - IIIA
Liv	IB // IIA	IIA	IIB / IIIA	IIA / IIB	IIA // IIIA	IB - IIIA
Lua	IA / IB	IB / IIA	IB / IIA	IA / IIA	SI	IA - IB
Luc	SI	IA / IB	IIB	IIA / IIB	IIA / IIB	IA - IIA
Lud	IB	IIB	IIA / IIB	IIA / IIB	IIB	IB - IIB
Max	IB // IIA	IIA	IIA / IIB	IB // IIB	IB // IIA	IB - IIA
Nat	IB // IIA	IB // IIB	IIA	IIA	SI	IIA - IIA
Tol	IB // IIA	IIA	IIB / IIIA	IIB / IIIA	SI	IB - IIIA
Pri	IA	IIA	IIA / IIB	IA / IIA	SI	IA - IIA
Raf	IB // IIA	IIA	IIB	IIA / IIB	IIIA	IB - IIIA
Ram	IB // IIA	IB	IIB / IIIA	IIB	SI	IB - IIB
Rai	IA // IIA	IIA / IIB	IIIA	IIB / IIIA	IIA / IIIA	IIA - IIIA
Ren	IIA	SI	IIA / IIB	IIA / IIB	IIA / IIB	IIA - IIA
Tia	IIA	IB // IIA	IIA	IIA / IIB	SI	IIA - IIB
Van	IB // IIA	SI	IIB	IIB	SI	IB - IIB
Vin	SI	IB	IB / IIA	IIA // IIIA	IIA / IIB	IB - IIA

Analisando as cinco primeiras colunas desse quadro, podemos acompanhar a evolução dos níveis de entendimento do conjunto dos alunos da turma em cada um dos momentos de avaliação do curso. Os gráficos que se seguem -- numerados de 1.1 a 1.5 -- indicam a distribuição relativa do número de estudantes que manifestam,

predominantemente, cada um dos níveis e subníveis. Apresentamos os gráficos em conjunto, para, na seqüência, analisar comparativamente seus resultados. No GRAF. 2 apresentamos esses mesmos dados, mas sem referência aos subníveis, a fim de destacar a evolução dos modos de entendimento intra, inter e trans-objetais ao longo das avaliações.

Distribuição dos Níveis de Entendimento ao longo das Avaliações (em % do Número Total de Alunos Avaliados)

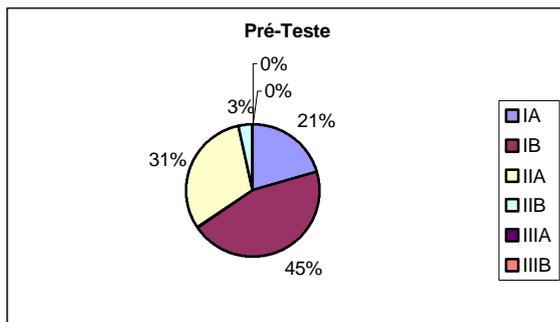


Gráfico 1.1

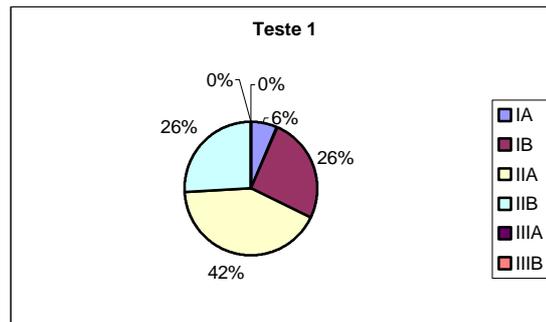


Gráfico 1.2

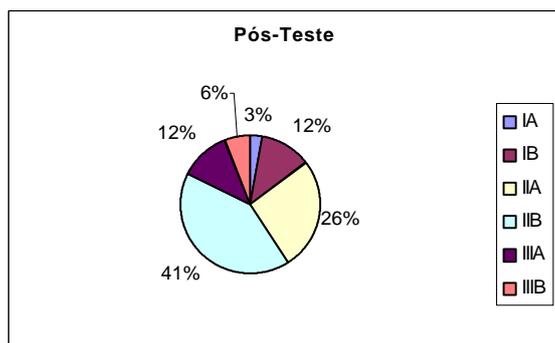


Gráfico 1.3

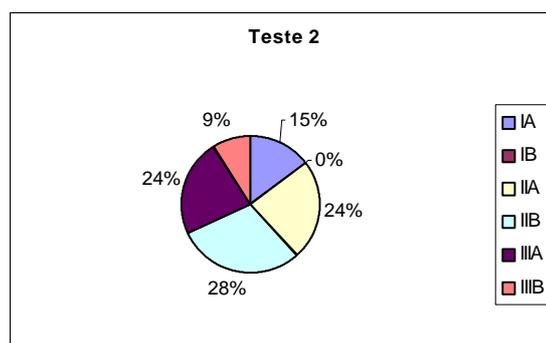


Gráfico 1.4

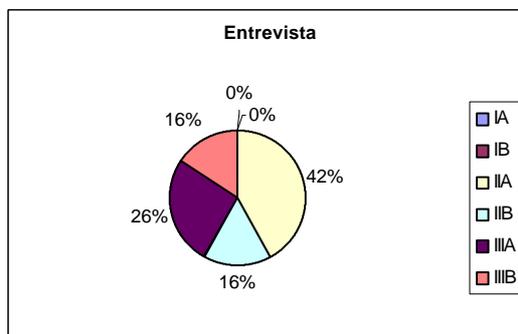
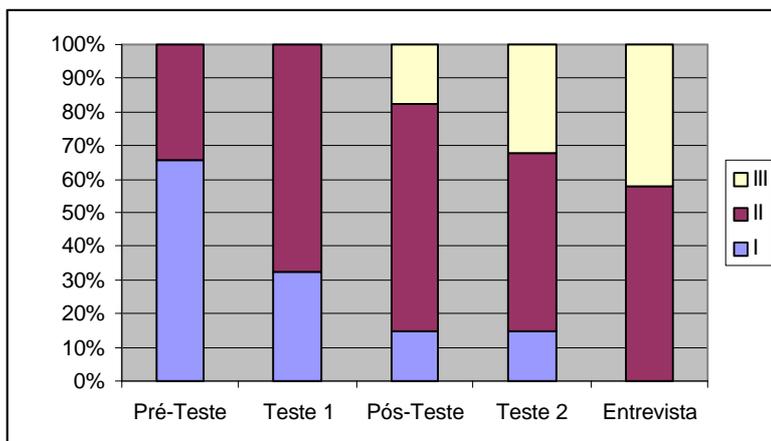


Gráfico 1.5

Gráfico 2: Evolução dos níveis de entendimento ao longo das avaliações (em % do número total de alunos avaliados)



Se compararmos os dados do Pré e Pós-teste, relativos ao mesmo instrumento de avaliação aplicado ao final do curso, vemos uma nítida progressão das formas de entendimento dos alunos da turma, que apresenta, em seu conjunto, evolução de um pensamento dominado por qualidades e atributos dos objetos para um pensamento centrado nas relações e transformações em jogo.

Por outro lado, a comparação entre os dados do Pós-teste e do Teste 2 mostra a influência do instrumento de avaliação na distribuição de resultados. Convém lembrar que esses dois testes foram aplicados na mesma semana, diferindo bastante, porém, na proposição dos problemas propostos. Enquanto o número de sujeitos que manifestam raciocínios predominantemente centrados em atributos e qualidades permanece, nos dois casos, em 15% dos alunos avaliados, nota-se um aumento significativo de respostas de nível III. Essa discrepância pode ser justificada pelo maior número de situações-problemas propostas na avaliação final do curso, nas quais raciocínios trans-objetais eram necessários para a resolução³.

A ausência de raciocínios trans-objetais no Teste 1 pode ser justificada, do mesmo modo, pelas situações apresentadas nesse instrumento de avaliação, aplicado ao final do primeiro mês do curso. Na ocasião, tínhamos a intenção de avaliar os progressos dos alunos em direção ao segundo nível de entendimento, que representavam as metas de aprendizagem da primeira parte do curso.

³ Especialmente, nas questões 1 e 4 do Teste 2. As características dos vários instrumentos de avaliação utilizados foram apresentadas e justificadas na seção 4.2.

Finalmente, os dados da Entrevista diferem, significativamente, dos anteriores. Em relação aos dados do Teste 2, notamos uma maior participação do nível III e a inexistência de sujeitos que mantiveram, na Entrevista, raciocínios predominantemente intra-objetais. Essas diferenças podem ser compreendidas por muitas razões. Em primeiro lugar, a amostra não é a mesma, porque entrevistamos apenas 19 alunos de uma turma composta por 34 sujeitos. Além disso, o contexto de maior interação nessa avaliação, em que os estudantes formulavam suas hipóteses verbalmente, permitiu a construção de um maior número de relações, em relação aos instrumentos de avaliação anteriores. Uma terceira razão, a nosso ver mais significativa, pode ser encontrada nas situações propostas na Entrevista, em que procuramos avaliar, de modo mais claro, as diferenciações entre os conceitos de calor e temperatura e, ainda, destacar o *status* (HEWSON & THORLEY, 1989) da hipótese de conservação da energia para os estudantes e sua aplicação no contexto dos problemas investigados ao longo da unidade de ensino. Outra razão de algumas discrepâncias entre os repertórios dos alunos aos testes realizados ao final do curso – Pós-teste e Teste 2 – e na Entrevista podem ser, também, atribuídas ao momento em que os alunos foram entrevistados, entre 30 e 60 dias após o final do curso.

Comparando-se os dados da entrevista com os registrados no Teste 2, notamos uma menor participação do subnível IIB, que migra para IIA, em função da constatação de lacunas e de uma indiferenciação entre conceitos maior que a evidenciada na primeira ocasião; e para o nível III, em razão do tratamento explícito das crenças a respeito da conservação da energia.

Isso posto, passemos, então, à última coluna do Quadro 3, em que registramos uma avaliação dos níveis de entendimento de cada estudante ao início e ao final do curso. A avaliação do nível inicial foi feita a partir do instrumento do Pré-teste, o que exclui os cinco alunos já referidos – Cam, Dan, Edu, Luc e Vin – de que não dispomos de dados relativos à produção individual anterior à discussão nos grupos. Entretanto, como esses alunos, à exceção de Dan, manifestaram no Teste 1, raciocínios predominantemente intra-objetais (IA ou IB), foram considerados como a primeira e mais elementar forma de entendimento manifestada no início dos trabalhos. Essa avaliação é compatível com as observações e impressões que tivemos do grupo no início do curso. Quanto à aluna Dan, preferimos ser cautelosos e excluir o dado relativo ao Pré-teste. Nas gravações das primeiras aulas, ela não manifesta, de modo claro,

discordância das idéias de seus colegas de grupo ou adesão a elas, o que impede que possamos precisar seu nível de entendimento no início do curso.

Para avaliar o nível de entendimento dos alunos ao final do curso, procuramos cruzar as informações do Pós-teste e do Teste 2 valendo-nos, também, das informações de entrevistas de alguns estudantes. É importante destacar que os dados de entrevista foram considerados mais confiáveis e determinantes da avaliação final no caso dos alunos Raf, Liv, Jul, Ren, Kri, Dan e Vin.

Apresentamos, no Quadro 4, a distribuição das mudanças nas formas de entendimento da turma no início e ao final do curso e, na seqüência, o Gráfico 3 correspondente. Nessa apresentação, excluimos os registros da aluna Dan, de quem, como já foi dito, não dispomos de dados relativos ao início do curso. Deve ficar claro que, quando falamos em transições, evoluções ou mudanças conceituais, nos referimos sempre às novas possibilidades abertas ao pensamento, sem que isso exija o abandono de representações de partida. Esse abandono pode, ou não, ocorrer, dependendo não apenas das convicções do sujeito mas, sobretudo, das solicitações do meio social. Para todos os estudantes do curso, acompanhamos, assim, a evolução de um perfil conceitual (MORTIMER, 1994), resultante da introdução de novas formas de entendimento e da conseqüente diminuição do *status* de algumas convicções de partida (HEWSON & THORLEY, 1989; HEWSON & HEWSON, 1992).

Quadro 4 – Distribuição das Mudanças nos Níveis de Entendimento da Turma

Níveis i - f	IA - IA	IA - IB	IA - IIA	IB - IB	IB - IIA	IB - IIB	IB - IIIA	IB - IIIB	IIA - IIA	IIA - IIB	IIA - IIIA	IIA - IIIB
Nº Estudantes	1	1	5	0	7	4	5	1	2	2	3	2

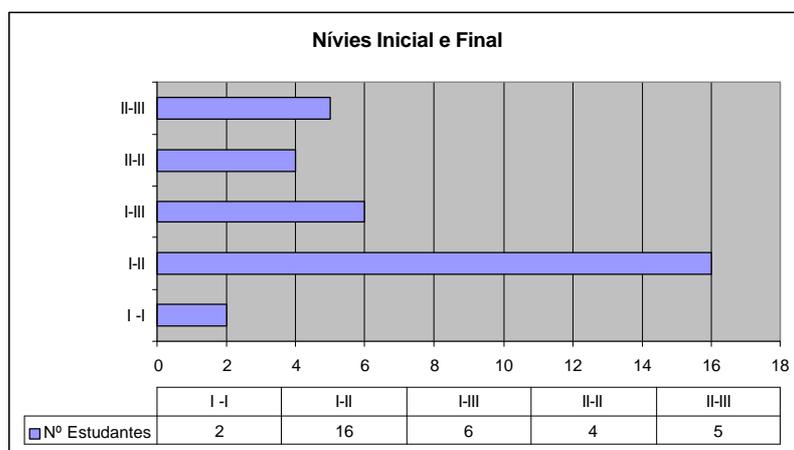


Gráfico 3: Evolução Conceitual da Turma

O resultado mais desfavorável da aprendizagem ao longo do curso manifesta-se naqueles sujeitos que mantêm as produções intra-objetais de partida, o que representa 6% do total da turma. As transições intra-inter são as mais frequentes – 48%. Muito embora o nível IIA seja bastante limitado em relação às metas gerais de aprendizagem do curso, são significativas as diferenças entre este e as produções intra-objetais, IA ou IB. Assim, podemos afirmar que tais estudantes, apesar de terem ficado aquém das expectativas e das possibilidades abertas pelo curso, dele se beneficiaram de algum modo. A transição I-III, relativa à passagem das composições centradas em atributos dos objetos para um pensamento estruturado e sistêmico, representa, ao contrário, os sujeitos que tiraram maior proveito da proposta de ensino que acompanhamos, que abrangem 18% do total de alunos da turma. Do mesmo modo, as transições II-III referem-se a estudantes que, tendo iniciado o curso com noções bastante próximas de algumas das metas de aprendizagem, ampliaram os modos de conceber os problemas, o que significa, também, um êxito considerável das estratégias de ensino. O mesmo não se pode dizer daqueles quatro estudantes – 12% do total – que, tendo iniciado o curso com produções predominantemente intra-objetais, o concluíram do mesmo modo, em que se pese, evidentemente, a ampliação, em extensão, das formas de pensamento e a correção de algumas das relações inicialmente formuladas.

De modo geral, com base no desempenho ao longo do curso, podemos dividir a turma em três grandes grupos. O primeiro é composto pelos estudantes que parecem ter-se beneficiado pouco do curso, permanecendo no mesmo nível de entendimento de partida. Temos, neste caso, 18% dos alunos – grupo composto por 2 estudantes que permaneceram no nível I e outros 4 que mantiveram as produções de nível II. O segundo grupo, composto por 16 estudantes – 48% do total –, é constituído por aqueles que apresentaram transições intra-inter, que permitem identificar progressos, embora menores que os desejados. Finalmente, o terceiro grupo, composto por 11 estudantes – 33% do total – atinge as metas propostas, com alguns de seus elementos dando passos mais significativos, outros menos notórios, segundo os pontos de partida.

Esses números conduzem a uma afirmação das estratégias de ensino propostas e, sobretudo, da diferenciação das metas de aprendizagem em níveis progressivos de entendimento. Entretanto devemos examinar com maiores detalhes as características dos

estudantes que pouco, ou nada, progrediram ao longo dos dois meses de trabalho do curso, buscando identificar obstáculos.

Um modo de fazê-lo consiste em examinar a influência dos níveis de partida na evolução conceitual dos estudantes. Nesse sentido, é sintomático verificar o pequeno progresso de sete dos estudantes – Adr, And, Car, Kri, Lua, Pri e Luc - em que predominam manifestações de tipo IA no início do curso. De fato, nenhum desses estudantes avança além do subnível IIA e a maior parte deles sustenta, ao final do curso, um olhar centrado nas qualidades dos objetos e não, nas interações. Esse dado contrasta com a evolução conceitual dos 17 estudantes que, no início do curso, expressam raciocínios do tipo IB. Deste grupo, 24% atinge IIB e 35% apresenta construções trans-objetais ao final do curso.

Lembramos, então, que a diferença fundamental entre os subníveis IA e IB consiste na presença, em IA, de manifestações pseudonecessárias, orientadas por um realismo ingênuo, que crê poderem ser as coisas explicadas pela descrição do modo como se comportam. Como lembra BLISS (1995), o pensamento ontológico é irrefletido e prático, diz o que as coisas obviamente fazem e o que se pode esperar delas em situações cotidianas, ou seja, a *“obviedade substitui a necessidade lógica”*. Ainda que tenha sido utilizado pela maior parte dos estudantes no Pré-teste, o recurso às pseudonecessidades manifesta-se como característica central dos modos de pensamento dos estudantes que classificamos como IA. Em contraste, no subnível IB, destacam-se tentativas de estabelecimento de modelos físicos que, embora elementares, porque centrados nas qualidades absolutas de objetos, explicam as sensações a partir dos movimentos do frio e do calor. Talvez, a característica distintiva entre os estudantes dos dois grupos no pré-teste seja, então, a busca de mecanismos explicativos, o que justifica os resultados mais favoráveis da aprendizagem do segundo grupo ao longo do curso.

É, também, significativa a porcentagem de estudantes que, partindo do subnível IIA chegam ao nível III – 63% de um conjunto composto por oito estudantes. Esse percentual é um indicativo de que o curso foi capaz de colocar novos problemas e promover coordenações esquema-estrutura. Contudo, o fato de terem partido de um ponto próximo a algumas das metas de aprendizagem sinalizadas pelo ensino pode ter favorecido uma atitude conservadora do grupo que, iniciando o curso no nível II, permanece, praticamente, com as mesmas formas de raciocínio, apenas enriquecidas em extensão e corrigidas localmente.

Esses dados conferem somente uma visão geral dos problemas, que passamos a examinar em detalhe no estudo de trajetórias cognitivas de alguns alunos.

5.3. Examinando Trajetórias: Alex (1º Caso)

A escolha de Alex deve-se ao fato de ter apresentado uma trajetória singularmente bem sucedida ao longo do curso, tendo efetuado uma transição do nível I (inter-objetal) ao nível III (trans-objetal). Nosso interesse reside no exame de algumas das razões determinantes desse sucesso, bem como na sinalização de lacunas e impasses na construção de uma visão coerente acerca de alguns fenômenos térmicos.

Alex teve um comportamento discreto em sala de aula e nos trabalhos de grupo. Nos momentos coletivos de discussão, acompanhava, com bastante atenção, os debates, fazendo poucas intervenções, mas respondendo com firmeza quando solicitado. Seu grupo – formado por Fre, Jul, Liv, Max e Tol – apresentava bom desempenho e participação ativa nas tarefas. Jul e Liv exerciam forte liderança nas conduções dos trabalhos do grupo e eram elas quem, geralmente, relatavam suas conclusões. A professora, ao solicitar as contribuições desses alunos, normalmente, referia-se a eles como o "grupo da Jul". Nos trabalhos em grupo, Alex apresentava seus argumentos aos colegas de modo discreto, mas firme.

5.3.1. Análise do Pré-teste

No Pré-teste, as respostas de Alex apontam para interpretações bastante primitivas dos fenômenos térmicos em geral e, particularmente, do problema da regulação térmica. Nesse momento, ele não manifestou qualquer referência ao conceito físico de calor como princípio explicativo de variações de temperatura. Suas respostas estão centradas nas dualidades quente/frio, considerados elementos em oposição:

“Sim, porque o gelo está gelado e a limonada fria. Então, a limonada, mais quente que o gelo, vai derretê-lo, passando o ar gelado para a limonada.” (Pré-teste, questão 5)

“A temperatura do ar é mais fria que a temperatura do café. Então, aos poucos, vai havendo a mudança de temperatura. Quando assopramos o café, acontece o mesmo com o ventilador e o corpo quente.” (Pré-teste, questão 6)

Embora não haja referências às transferências de calor, a desigualdade de temperaturas é um observável – “A temperatura do ar é mais fria que a do café. Então, aos poucos, vai havendo mudança de temperatura”. Infelizmente, o aluno não explicita se o que muda é a temperatura do café, do ar ou de ambos. Observa-se uma ausência de

mecanismos explicativos outros, que não a mistura das qualidades quente e frio, para explicar mudanças de temperatura. Tais qualidades, atribuídas aos materiais, compõem um sistema causal bastante primitivo e centrado nas sensações e aparências. Nota-se uma tentativa de conferir uma imagem à categoria ontológica do “frio” como sendo um “ar gelado” que emana da pedra de gelo. Porém, essa causalidade, por mais centrada que seja, permite ao aluno extrair duas conclusões: em primeiro lugar, há uma reciprocidade nas relações – “... a limonada, mais quente que o gelo, vai derretê-lo, passando o ar gelado para a limonada”; em segundo, frio e quente mesclam-se gerando uma noção primitiva de equilíbrio térmico, que pode ser inferida nesta resposta, de resto bastante lacunar, sobre a temperatura de vários objetos colocados no interior de um *freezer*:

“São iguais, pois a temperatura dos objetos são (sic) a mesma da temperatura do ambiente.” (Pré-teste, questão 7)

A noção de ambiente é a de um meio que circunda os materiais – nesse caso, a gaveta do *freezer* – e a temperatura de todos os objetos tende a se homogeneizar com a temperatura do ambiente em que se encontram.

Com relação ao corpo humano, isso não acontece graças à circulação do sangue, como se pode observar nas repostas à primeira e à terceira questões do Pré-teste:

“Isso é possível, por causa da circulação do sangue.”(Questão 1)

“Quando corremos, por exemplo, o batimento cardíaco aumenta, assim aumentando a temperatura.”(Questão 3)

Podemos interpretar de dois modos distintos as conexões entre a manutenção da temperatura corporal em condições diversas e as variações na circulação sangüínea. O primeiro consiste em supor que o sangue, por ser quente, aquece o corpo ao movimentar-se através dele. Neste caso, o sangue seria uma espécie de “*fonte inesgotável de calor*” (CAFAGNE, 1996), que supriria o corpo, dando-lhe uma temperatura distinta da temperatura ambiente. O segundo resume-se em atribuir o aquecimento ao movimento e ao atrito do sangue com o organismo. Neste caso, o sangue não seria quente *a priori*, mas se tornaria aquecido ao se movimentar. A primeira explicação é típica do nível IB, já que relativa a uma causalidade centrada em atributos e propriedades dos objetos; a segunda comporta elementos causais do tipo inter-objetais, característicos do nível IIA. A resposta à terceira questão do Pré-teste aponta para uma correlação entre o aumento de batimentos cardíacos e a elevação da

temperatura corporal em situação de exercício físico intenso, o que parece levar à segunda interpretação. Na Entrevista final, realizada um mês após o término dos trabalhos com a unidade, voltamos ao tema:

Entr.: Vocês colocaram, naquele Pré-teste, alguma hipótese de que a produção de calor [no organismo] estava associada à circulação do sangue.

Alex: Na primeira vez, né? Na primeira vez, eu achava isso.

Entr.: Como é que era essa idéia? A gente vê isso escrito e sempre fica querendo saber um pouco mais sobre ...

Alex: Eu coloquei assim, porque eu achei assim. Toda vez que a gente corre, a gente sente que está... Sinal que o sangue está correndo. Você põe a mão. Seu coração está mais rápido. Eu achei que o sangue ele ia muito mais rápido, o ar ficava mais... Achei que ia aumentando a temperatura.

Entr.: É porque o sangue... A idéia maior é que o sangue já tinha calor, era uma coisa quente, ou que o sangue produzia calor ao se movimentar?

Alex: O sangue era quente.

Entr.: O sangue já era quente... Ai, com esse movimento, ele está transferindo a "quentura" dele pro corpo?

Alex: É...

Esse é um indicador significativo, embora não totalmente seguro, de que a primeira interpretação é correta, o que consolida um tipo de entendimento predominantemente intra-objetal, mesmo que dotado de certa causalidade – nível IB. Entretanto, outras respostas dadas, no Pré-teste, parecem absolutamente descritivas:

“Quando o corpo está quente, nós precisamos de um ar frio para abaixar a temperatura do corpo.”(Pré-teste, questão 2)

“Nosso corpo tem vários sensores termais e, quando o ar de fora é mais frio que a temperatura do corpo, nós sentimos frio. Então, necessitamos de um aquecimento externo para nos sentirmos confortáveis.”(Pré-teste, questão 4)

Não resta qualquer dúvida quanto à presença do sensualismo e do realismo em tais respostas. A realidade parece evidente aos sentidos e não há nenhuma tentativa de ultrapassar as fronteiras do observável para compor sistemas explicativos mais abrangentes. Assim, o ar em movimento é frio, visto que nos dá essa sensação. O frio faz abaixar a temperatura dos corpos. Frio e quente são, portanto, tomados como opostos que se mesclam, gerando temperaturas amenas. Não havendo ar frio, necessitamos de um aquecimento externo, por meio de um agasalho. Mais uma vez, observa-se a ausência de mecanismos de transferência de calor. Em lugar disso, a temperatura elevada emana do objeto quando em contato com o frio. Não há qualquer manifestação que revele consciência das interações de nosso organismo com o mundo físico nem, tampouco, transformações e atividades de nosso organismo frente às mudanças nas condições ambientais.

Finalmente, na última questão do Pré-teste, o aluno associa febre a sudorese e a excessiva produção de calor:

“A febre é elevação da temperatura, porque faz o nosso corpo produzir muita energia e libera água, pelo suor.” (Pré-teste, questão 8)

O aumento de temperatura é, de um lado, corretamente associado ao aumento de produção de energia pelo organismo, mas, de outro, relaciona-se à transpiração, sem que se explique a importância da água no processo. O suor aparece, neste caso, apenas como um índice da elevação de temperatura, ou seja, como manifestação do corpo quente e não como resposta do organismo a altas temperaturas ou mecanismo regulador da temperatura corporal, o que, mais uma vez, configura uma causalidade centrada em objetos e suas propriedades e não, em eventos, princípios ou sistemas.

De tudo isso, podemos caracterizar o entendimento expresso no Pré-teste como de subnível IB. Este diferencia-se de IA pelas conclusões que permite extrair da atribuição das categorias ontológicas do calor (quente) e do frio. A heurística positiva dessa forma de entendimento refere-se à suposição de que as diferenças de temperatura provocam mudanças nos materiais ou corpos em contato e à identificação de uma igualdade final de temperatura entre os corpos e o ambiente. Registramos um esboço de explicação causal referente aos contatos quente/frio e ao aquecimento do corpo, ligado à circulação sanguínea. Alex não identifica interações e associa a sensação calor/frio ao estado de quente/frio dos objetos em contato com o corpo humano. O conceito físico de calor é ausente, predominando uma noção genérica de temperatura como grau da mescla quente/frio dos corpos. Para concluir, poderíamos parafrasear as produções de Alex no Pré-teste do seguinte modo: "Se o corpo está quente, ele perde temperatura para o ambiente. Isso não ocorre apenas se o corpo tiver um calor interior ou se sofrer um aquecimento externo – por agasalho."

5.3.2. Análise do Pós-teste

O uso do mesmo instrumento de avaliação inicial após o ensino caracteriza-se por vantagens e limitações. Comparar as produções dos estudantes frente às mesmas situações-problemas elimina vários ruídos decorrentes da forma e do tipo de questões apresentadas. Além disso, o uso das mesmas questões nas duas situações, permite ao estudante comparar suas respostas, procurando identificar seus progressos e, assim, tomar consciência de aspectos relativos à sua aprendizagem. No entanto, um

instrumento de pré-teste possui um caráter necessariamente genérico, pois pretende deflagrar formas de entendimento apenas implícitas e lacunares, visto que, até então, os estudantes não haviam sido apresentados a qualquer abordagem formal do tema. Por isso, o instrumento do Pré-teste revela claras limitações no diagnóstico daquilo que foi, de fato, aprendido e utilizado para interpretar novas situações após o ensino. Apesar disso, convém discutir as características das respostas ao Pós-teste, para, depois, examinar as avaliações feitas ao longo do curso.

Alex apresenta não apenas um nítido progresso nas explicações dadas mas também consciência de seu alcance. Ao comparar suas respostas, dadas nos dois momentos – pré e pós-teste –, ele destaca três questões – 1, 3 e 8 – que julga terem sido respondidas de forma “completamente errada” e outras – questões 2, 4, 5, 6 e 7 – em que “os fatos não foram explicados”.

O aspecto mais evidente consiste no uso sistemático de explicações relativas às transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas, que tendem ao equilíbrio térmico:

“O ar que sai do ventilador é mais frio que o nosso corpo. Então, o nosso corpo irá transferir calor para o ar do ventilador. Assim, perderemos calor e sentiremos um frescor.” (questão 2, Pós-teste)

“A exercitação dos músculos faz com que haja uma transformação mais rápida dos nutrientes no organismo. Assim, aumenta a produção de calor.”(questão 3, Pós-teste)

“O fato de colocarmos agasalhos é para que o corpo aqueça o ar que fica entre o corpo e o agasalho. Com esse ar aquecido, a transferência de calor do corpo para o ambiente é reduzido.”(Pós-teste, questão 4)

“A limonada, em relação ao gelo, está mais quente. Então, a limonada transferirá calor para o gelo, que irá fundir.” (Pós-teste, questão 5)

“Quando o café é abandonado na mesa, a tendência dele é transferir calor ao ambiente, pois o café está mais quente que o ar. Ao assoprarmos o café, o ar da nossa boca irá receber calor do café. Então, este perderá calor.” (Pós-teste, questão 6)

“As temperaturas ficarão iguais, porque os objetos e o freezer, depois de algum tempo, entrarão em equilíbrio térmico.” (Pós-teste, questão 7)

O caráter genérico de tais proposições leva-nos a caracterizá-las como decorrentes do subnível IIB, pois um único esquema é utilizado, com pequenas variações, em todas as situações apresentadas, com adequação a cada uma delas. Há um progresso nos observáveis e, sobretudo, nas relações entre eles. A temperatura deixa de ser apenas um índice ou uma propriedade de cada material, isoladamente, e passa a ser considerado como um termo de comparação. Em todas as situações, destacam-se as

diferenças de temperatura, que indica o sentido das transferências de calor. A noção de equilíbrio térmico, antes apenas esboçada, é, agora, generalizada e explicada pelos processos de transferência de calor. As formas de propagação de calor são enriquecidas por descrições que envolvem mediadores – ar aquecido –, sem que sejam, entretanto, destacados os aspectos de transferência de calor por convecção. A reciprocidade nas relações entre corpos a diferentes temperaturas é apresentada como argumento dedutivo: “*O ar de nossa boca irá receber calor do café. Então, este perderá calor*”. Ao contrário do que se verifica no Pré-teste, predominam, agora, relações e não, atributos.

As questões de 2 a 7 foram corretamente respondidas, não havendo necessidade de tratar de sistemas explicativos mais gerais, como os que coordenam mecanismos de produção e transferência de calor ou, ainda, que evocam sistemas de regulação, em seu dinamismo. Assim, os dados analisados até este ponto permitem-nos afirmar que o aluno encontra-se de posse de esquemas próprios do subnível IIB mas não nos informam nada sobre o nível seguinte. Alguma manifestação relativa ao pensamento sistêmico poderia ser provocada pela primeira e pela última questões do Pós-teste. A primeira é bastante geral e indaga sobre os processos que permitem a manutenção de temperatura corporal, mesmo que seja variável a temperatura do ambiente. Poderíamos esperar, numa resposta mais adequada à situação, que o aluno evocasse mecanismos ligados à produção e às transferências de energia pelo organismo, mas isso não ocorre:

“Isto é possível, através da contínua transformação de nutrientes em calor.” (Pós-teste, questão 1)

Além de considerar apenas aspectos relativos à produção de calor, Alex manifesta, nesta resposta, uma concepção de transformação que se assemelha ao que ROSA & SCHNETZLER (1998) designam “transmutação” e que, em muito, se distancia do conceito científico de transformação química. Uma transformação química é acompanhada pela idéia fundamental de conservação da matéria, o que não ocorre na “transmutação” de nutrientes em calor. Do mesmo modo, tal concepção parece revelar uma indiferenciação entre entidades abstratas – calor, energia – e materiais que compõem as “coisas” no mundo físico. Seria possível dizer que ela expressa, em última instância, uma substancialização do calor. Reservamos para o subnível IIA formas de entendimento que, embora estabeleçam corretamente o sentido do fluxo de calor, apresentam problemas, seja na diferenciação entre calor e temperatura, seja na compreensão dos mecanismos de produção de calor no organismo.

Finalmente, na última questão do teste, Alex revela uma compreensão mais articulada dos processos de regulação e dos órgãos neles envolvidos.

“As substâncias infecciosas estimularão o hipotálamo, que irá ativar todos os mecanismos de produção de calor. Então, a temperatura do corpo se elevará.” (Pós-teste, questão 8).

A idéia básica é a existência de um centro regulador associado a um conjunto de órgãos e estruturas periféricas. O organismo aparece, neste caso, como sede de um sistema de compensações ativo e em constante busca de equilíbrio e a infecção, como perturbação que desloca esse equilíbrio. Tal dinamismo só pode ser entendido no interior de sistemas de compensação mais integrados e submetidos a estruturas de conjunto, o que lhe confere um estatuto trans-objetal. Entretanto, no que se refere aos sistemas de regulação térmica, dado o caráter lacunar da resposta dada pelo aluno, não podemos precisar se seria mais conveniente categorizar a forma de entendimento de Alex no subnível IIIA ou no IIIB. No primeiro caso, teríamos um esboço da idéia de equilíbrio dinâmico e muitas lacunas sobre o modo como se processam.

Concluindo, o Pós-teste demonstra progressos consideráveis, que se caracterizam pelo predomínio de explicações do tipo IIB, com alguns indícios de evolução em direção ao nível III.

5.3.3. Análise das avaliações

Teste 1

O primeiro teste de Alex, após as três primeiras semanas de trabalho com a unidade, revela uma clara superação de explicações centradas na dicotomia frio/quente. Relativiza as sensações térmicas e explica corretamente as transferências de calor do corpo para os materiais que, segundo sua condutividade térmica, nos fornecem diferentes sensações ao tato, como se percebe na resposta do aluno à segunda questão:

“A madeira não conduz o calor tão bem quanto a ardósia. Se colocarmos o pé rapidamente na ardósia, ele já esfria, pois a ardósia já conduz o calor mais rapidamente. A transferência de calor do corpo para a ardósia é mais intensa.” (Teste 1, questão 2)

Na questão 1.1, ao analisar uma proposição em que se afirma a generalidade das transferências de calor do organismo para o ambiente, Alex levanta a questão da inversão do fluxo de calor quando a temperatura ambiente é maior que a temperatura

corporal, o que constitui um bom indicador da generalidade do princípio de transferências de calor:

(Falso) Justificativa: "O nosso corpo, certas vezes, não está em uma temperatura mais elevada que o ar. Tanto que [sentimos] calor quando estamos tomando Sol. Deste modo, o Sol vai transferir calor para o nosso corpo." (Teste 1, questão 1.1)

O primeiro dado a ser observado é o de que o aluno levanta um problema que ainda não havia sido abordado pelo ensino, ou seja, refere-se a uma possibilidade, até então, não examinada, superando a informação veiculada na sala de aula e apontando para novos problemas. Entretanto, ao examinar a questão, Alex associa a sensação de calor com a inversão de fluxo de calor entre o organismo e o meio. Tal esquema poderia ser parafraseado do seguinte modo: "Sentimos frio quando transferimos calor para o ambiente; sentimos calor quando absorvemos calor do ambiente". Embora a sensação de frio seja decorrente dos fluxos de calor do organismo para o meio e quanto maiores esses fluxos, mais intensas as sensações, a recíproca não é verdadeira. O aluno não se dá conta de que a ausência de transferências de calor do organismo para o meio, em situações em que a temperatura ambiente é superior à temperatura corporal, leva, inevitavelmente, à hipertermia e, por via de consequência, à morte do organismo. Como não havíamos abordado, até aquele momento, esse problema, tais respostas parecem ser bastante razoáveis. Observa-se uma busca permanente de generalizações, o que caracteriza um estilo de aprendizagem e constitui, talvez, uma das razões de seus progressos.

Podemos classificar essas produções no primeiro teste como uma transição do subnível IIA para o IIB. As lacunas próprias do momento do ensino em que estávamos impedem uma maior generalidade nas composições do estudante. É preciso, também, considerar que esse teste não apresenta qualquer questão sobre os mecanismos de produção e de transferência de energia nem, tampouco, acerca dos processos reguladores, que foram tratados a partir de então, nas segunda e terceira partes do desenvolvimento da unidade.

Teste 2

Na primeira questão, Alex explica corretamente a manutenção da temperatura do ferro de solda, valendo-se de esquemas de fluxos de energia em situações de equilíbrio dinâmico:

"O ferro vai transformando energia elétrica em calor. Assim, sua temperatura se eleva, ele está sempre transferindo calor para o ar. Quando a temperatura do ferro estabiliza, é porque ele está transferindo o mesmo tanto que está recebendo." (Teste 2, questão 1b)

Vejam, ainda, como Alex compara o ferro de solda com o corpo humano no que se refere às trocas de energia que ambos realizam com o meio:

"Sim, o nosso corpo está sempre transformando energia em calor, como o ferro, e as suas temperaturas são sempre mais altas do que a do ambiente. Só que o ferro necessita de energia elétrica para se aquecer; já o corpo necessita de alimentos." (Teste 2, questão 1c)

Alex apresenta bom manejo de situações análogas, destacando aspectos relevantes em que se assemelham e outros em que diferem. Não menciona, entretanto, os mecanismos reguladores do corpo humano, fator crucial no entendimento dos processos de regulação em seres vivos. Além disso, como ele próprio havia comentado no primeiro teste, as temperaturas do corpo humano nem sempre são mais elevadas que a temperatura do ambiente. Essas observações levam-nos a admitir que suas respostas se aproximam do subnível de entendimento IIIA. Superam o IIB, ao compor um sistema de compensação que coordena aspectos ligados à produção e à transferência de calor, considerados fluxos de energia que se conservam, para explicar equilíbrios dinâmicos, com manutenção de temperatura do sistema distinta da temperatura da vizinhança. Não atingem o subnível IIIB, por não levar em conta o dinamismo e as variações que caracterizam os sistemas de regulação de temperatura nos seres vivos.

Na segunda questão, o estudante explica corretamente as diferenças entre animais homo e heterotermos, em função das trocas de energia com o meio. Vejamos, em primeiro lugar, como ele se refere aos homeotermos:

"Os animais homeotermos têm uma temperatura mais alta que o ambiente e estão sempre transferindo calor ao ambiente; mas essas transferências são reguladas de acordo com o isolamento térmico destes animais. Os tipos de isolamento são: camadas de gordura, plumagem e pelagem. Estes materiais isolam um pouco a perda de calor destes animais." (Teste 2, questão 2b)

Alex mostra-se capaz de generalizar os processos de transferência de calor e os mecanismos reguladores conforme a estrutura dos anexos da pele. Contudo sua resposta é lacunar na medida em que não explica como um mesmo animal pode suportar diferentes condições ambientais, ou seja, como essas estruturas respondem a diferentes condições do meio. Não cita, tampouco, as variações da circulação sanguínea no nível de capilares, na superfície de tais organismos. Quanto à heterotermia, ele escreve:

"Os animais heterotermos estão sempre necessitando de calor de outros materiais para se aquecerem, pois o seu corpo não é capaz de produzir calor. O isolamento térmico destes animais é pouco desenvolvido, pois ele necessita de muitas trocas de calor com o ambiente."(Teste 2, questão 2b)

Alex deduz, corretamente, as estruturas de isolamento térmico dos heterotermos e o fato de estes serem mais dependentes de trocas de calor com o ambiente. Verifica-se uma ambigüidade no termo "muitas" em referência às trocas de calor dos heterotermos com o ambiente, em comparação com as dos homeotermos. Essas trocas são, neste caso, de menor intensidade – a diferença de temperatura tende a ser sempre reduzida devido à inexistência de mecanismos reguladores –, mas contínuas e delas depende, crucialmente, a sobrevivência de tais organismos. A estrutura da última frase – "*O isolamento térmico desses animais é pouco desenvolvido pois ele necessita de muitas trocas de calor com o ambiente*" – demonstra manejo correto do discurso relativo às adaptações biológicas. É necessário, ainda, corrigir a afirmação de que "*o seu corpo não é capaz de produzir calor*", substituindo-a por "a quantidade de calor produzido – energia dissipada – não é suficiente para manter a temperatura corporal". A suposição de que os heterotermos não produzem calor contradiz o segundo princípio da termodinâmica, que preconiza o fato de toda conversão de energia interna em trabalho envolver processos dissipativos. Essas características reafirmam o caráter IIIA das formas de entendimento apresentadas pelo aluno neste teste.

Os mecanismos de transferência de calor mostram-se, também, suficientemente generalizados na situação proposta na questão 3, em que se discute o papel de um agrupamento de animais – pingüins – em climas frios:

"Quando estes pingüins se juntam, eles estão querendo diminuir a superfície de contato com o ar. Assim, eles aquecem o ar que está entre eles e diminui a perda de calor"
(Teste 2, questão 3)

Mesmo sem mencionar os processos de convecção e radiação, a resposta revela domínio dos fatores intervenientes – ar preso entre as penas e os corpos das aves; superfície corporal exposta ao ambiente – e processos pelos quais se reduzem as transferências de calor para o meio. Tal questão permite inferir positivamente as aquisições do subnível IIB, mas não oferecem indicadores das construções do nível III, porque desnecessárias para resolver o problema apresentado.

A quarta questão do Teste 2 propõe a discussão da distribuição de temperaturas no corpo humano submetido a diferentes condições de temperatura ambiente. Para explicar por que as extremidades apresentam temperaturas inferiores às temperaturas internas e superiores à temperatura ambiente, Alex evoca um mecanismo de transporte de calor através do sangue:

"As extremidades estão sempre recebendo calor que vem através do sangue; mas o sangue, quando chega nas extremidades, não está tão aquecido quanto o sangue mais próximo do peito. Pois ele já transferiu calor para os outros órgãos."(Teste 2, questão 4.a)

Embora corretamente descrito, tal mecanismo de transferência de calor traduz uma concepção equivocada quanto à produção de energia, supostamente localizada na região abdominal, em que o sangue cumpre o único papel de transportar o calor a todo o organismo. Nesse sentido, ainda que lidando com explicações sistematicamente integradas em mecanismos de conjunto que permitem deduzir e explicar – nível trans-objetal –, Alex não manifesta correta compreensão dos mecanismos de produção de energia nos organismos, por insuficiente integração dos processos de digestão, respiração e circulação como funções de nutrição. Por isso, uma vez mais, parece-nos adequado atribuir um subnível IIIA às suas respostas.

Nas situações seguintes, apresentadas, também, na quarta questão deste teste, o aluno é chamado a explicar o que acontece com o organismo quando a temperatura ambiente é alta, mas inferior à temperatura corporal (item 4.b) ou, mesmo, superior a esta temperatura (4.c):

"Quando o ar está mais quente, a perda de calor para o ambiente é reduzida. Assim, nossa pele vai esquentando até começar a suar, pois o corpo está transformando mais calor do que transferindo."(Teste 2, questão 4.b)

"O nosso corpo sempre encontra um modo para transferir calor. Quando a temperatura ambiente é mais alta, o corpo começa a suar. É o único modo para perder calor." (Teste 2, questão 4.c)

Em tais situações, o observável fundamental com que Alex trabalha diz respeito à diferença entre temperatura corporal e temperatura ambiente – e não mais as sensações –, do que se deduzem reduzidas as transferências de calor para o ambiente. O aluno conclui, portanto, que a pele esquenta o que provoca o suor, como reação do organismo à hipertermia, de modo a favorecer transferências de calor. É preciso destacar, também, que ele volta ao balanço energético, tentando justificar o aumento de

temperatura até que se atinja um novo patamar de equilíbrio dinâmico – a *"pele vai esquentando[...], pois o corpo está transformando mais calor do que transferindo"*. Quando a temperatura ambiente, finalmente, supera a temperatura da pele, a transferência de calor por evaporação, mesmo que não mencionada explicitamente, é o único processo capaz de evitar a hipertermia. Nessa explicação, a única lacuna consiste na ausência de referência à produção contínua de calor pelo metabolismo, o que obriga a uma transferência equivalente de modo que se mantenha a temperatura corporal.

Podemos dizer que essa resposta de Alex indica uma conduta gama frente a uma perturbação, pois deduzida e tornada necessária a partir de um sistema completo de compensações. Nesse sentido, parece-nos compor uma explicação trans-objetal, com todas as características esperadas no nível de complexidade em que foram tratados os conteúdos dessa unidade, ou seja, do subnível IIIB.

Finalmente, na questão 5, em que se solicitava a explicações das relações entre os conceitos de calor e temperatura:

"A temperatura é a medida de calor de um corpo e o calor é o processo de transferência de calor. "(Teste 2, questão 5a)

"O frio não existe; o calor, certas vezes, aquece um objeto por transferência de calor, mas, em seguida, esfria um outro. Como o exemplo do café para o ar. O café transferirá calor ao ar, que irá aquecer. Mas o café perde calor e esfria."(Teste 2, questão 5b)

A resposta a esta questão é completamente estranha a todo o teste, e levantamos duas hipóteses para interpretá-la. A primeira diz respeito à formulação da própria questão, e ao tipo de competência que ela solicita. De fato, embora a charge apresentada na questão seja provocativa, ela envolve um conjunto de conhecimentos declarativos. Podemos, assim, supor que o aluno, ainda que capaz de utilizar-se corretamente de conceitos em contextos específicos, não possui, nessa ocasião, um nível de abstração que permita transformá-los em proposições gerais e consistentes.

Outro modo de interpretar esse dado consiste em assumir que a relação entre calor e temperatura se encontra, então, restrita à consideração de “temperatura como medida do calor”, compondo, desse modo, o perfil conceitual do estudante. Convém salientar que, em nenhum momento deste teste ou do anterior, Alex usa esses dois conceitos de modo indiferenciado. Em todas as situações, trata do calor como algo que se obtém por meio de transformações de energia, e que se submete a princípios de conservação quando é transferido de um sistema a outro. No entanto, o aluno poderia,

nesse caso, pensar que o calor está, de fato, contido no corpo e que a temperatura apenas mede a quantidade de calor assim disponível. O certo é que, naquele momento, tínhamos poucos dados para decidir sobre a validade dessa interpretação, o que nos levou a formular outras situações a serem propostas na entrevista.

É preciso destacar, finalmente, que a resposta ao item b foi formulada de modo inadequado, sugerindo uma seqüência de eventos e não, uma simultaneidade entre o aquecimento de um corpo e o arrefecimento de outro em situações de transferência de calor, o que reforça as hipóteses sobre as dificuldades dos estudantes em situações multicausais (PERKINS & GLOTZER, 2000; GUTIERREZ & OGBORN, 1992).

5.3.4. Análise dos dados da Entrevista

A Entrevista de Alex foi bastante peculiar, porque realizada em conjunto com outro aluno, Max. Por desentendimento quanto aos horários marcados, os dois pediram para fazer essa avaliação juntos. Acabei concordando, julgando que isso representaria uma oportunidade de se examinarem outras formas de interação, ao longo da avaliação, o que talvez contribuísse para enriquecer os dados. De fato, a atividade foi bastante produtiva, muito embora a análise dos dados nela obtidos contenha um elemento de maior complexidade, devido às influências recíprocas que caracterizam as interações humanas.

Um primeiro dado que chama a atenção refere-se à confirmação da superação das dicotomias frio/quente que caracterizavam as formas iniciais de entendimento de Alex. Uma das situações propostas na Entrevista consistia em aproximar a mão de uma pedra de gelo, sem tocá-la. Os alunos, após fazer a experiência, deviam explicar o que ocorria a partir de então. Traído pelas sensações do "frio" ao tato, Max lança mão de uma ontologia, que contrapõe dois tipos de calor – quente e frio. Por sua vez, Alex não tem dúvidas em corrigi-lo, indicando um sentido único na propagação do calor. Para facilitar a leitura do episódio, deixamos em negrito o nome do estudante de quem estamos interessados em analisar a trajetória cognitiva. Não eliminamos as falas dos demais participantes, visto que configuram um contexto particular de interações, em que devem ser analisadas as intervenções de Alex⁴.

⁴ Indicamos com o símbolo (...) pequenas pausas, de 3 segundos ou mais, no curso da conversação. As reticências sem parêntesis têm o mesmo significado da pontuação convencional da língua portuguesa.

Seqüência 1: O "frio" do gelo

Entr.: Dá pra sentir, não dá?

Max: Dá...

Entr.: E aí? O que está acontecendo?

Max: O gelo está transferindo calor pro ar (...) e, aí, o ar transfere pra nossa mão, assim...

Entr.: O gelo é fonte de calor?

Max: Fonte de calor não...Ele está a uma temperatura baixa, mas ele não está produzindo calor, não.

Entr.: Pois é... Mas ele está transferindo calor pra sua mão!?

Max: É... Transferindo... Você está falando uma fonte de energia?

Entr.: Sim. O que ele está transferindo pra sua mão? A gente sente o frio, né?

Max: É...

Entr.: Mas, ele está transferido... Esse calor que ele transfere é tipo um calor frio... uma coisa assim?

Max: É... É o calor frio.

Alex: Acho assim... Não está chegando a encostar. Então, nós estamos transferindo calor através de... Nossa mão está transferindo calor através de radiação. Mas, assim, o ar que está aqui em volta também, por ele estar aqui em volta do gelo, então, ele vai ter que transferir calor pro gelo. Por isso, ele vai perder calor. Chegando aqui, a nossa mão vai transferir calor pro ar e a gente vai ter a sensação de frio...

Max: Nossa mão é que perde calor

Entr.: A mão é que perde o calor? Não é o gelo que transfere calor?

Max: É...

Entr.: O sentido da transferência de calor é da mão pro gelo, do gelo pra mão ou as duas coisas?

Alex: Da mão pro gelo

Entr.: É da mão pro gelo?

Alex: É...

Max: É...

Entr. Por que não poderia ser o contrário? Porque o que a gente sente é isso mesmo, né? A gente sente é o frio do gelo, não é? Por que não poderia ser o oposto: o gelo transferir algo pra minha mão? Porque a sensação é essa, não é, Max?

Max: Porque... Sei lá!

Alex: A tendência é o mais quente passar pro mais frio.

Entr: Ok. E o frio aí? O frio que a gente sente...

Max: É nossa mão perdendo calor.

Podemos ressaltar, nesta pequena seqüência, como uma situação de entrevista, mais do que apenas revelar os conteúdos supostamente preexistentes nas mentes dos estudantes, consiste em uma forma de interação humana, portanto de aprendizagem. Quando a entrevista é realizada com um único estudante, o entrevistador procura assumir uma postura mais neutra, o que não é de todo verdadeiro, já que as maneiras como intervém, o sentido das questões que propõe, e, até mesmo, seus gestos ou entonações, que denotam *feedbacks* avaliativos ou elicitativos (MORTIMER & MACHADO, 1997) interferem nas produções do aluno nesse contexto específico. Com dois estudantes, a influência mútua gera um contexto de construções ainda mais evidente, com influências recíprocas muito marcantes. Não fosse a presença de Alex, o

curso da entrevista com Max poderia ter tomado outro rumo. No entanto, como se verá,, a presença do colega não impede a identificação de modos distintos de os dois enfrentarem os problemas colocados.

Outra situação proposta na entrevista consistia em comparar as quantidades de calor transferido por dois materiais postos sobre uma mesa: um prego, de 5 g, incandescente – temperatura inicial de, aproximadamente, 800°C– e uma panela contendo um litro de água fervente – temperatura inicial de, aproximadamente, 100°C. Para nossa surpresa, Alex continua supondo que calor é aquilo que é transferido de um material a outro, mas cuja intensidade depende apenas, e tão somente, das diferenças de temperatura entre os corpos envolvidos.

Vejamos toda esta parte da entrevista, para em seguida, retornarmos à sua interpretação:

Seqüência 2: Quem transfere mais calor?

Entr.: Qual [o prego ou a água] agora, você acha que transfere maior quantidade de calor?

Max: Qual transfere mais?

Entr.: Maior quantidade!

Max: Acho que é o prego...

Alex: É o prego.

Entr.: Por quê?

Alex: Porque a temperatura dele é muito maior que a da água. Está muito mais elevada. A água só chega até 98°. Então, vai transferir menos.

Entr.: Além da temperatura, quais os fatores que interferem na quantidade de calor transferido?

Max: O material também...

Alex: é... o material.

Entr.: Se você tiver uma mesma quantidade e a mesma temperatura de água e de ferro, metal.

Alex: O metal transfere mais rápido.

Entr.: Uma quantidade maior, menor ou igual de calor?

Alex: Eles estão na mesma temperatura?

Entr.: Na mesma temperatura. Eu pego este prego, ponho em banho-maria, com água fervendo. Tá certo? Aí, tá. Tirei...E pego, imagino, uma quantidade igual de água, 5g também, a uma mesma temperatura. Qual deles transfere maior quantidade?

Max: De calor?

Alex: Os dois transferem a mesma quantidade. Só que o prego, neste caso, vai transferir mais rápido.

Max: É...

Entr.: Mas a quantidade é a mesma?

Alex: Eu acho que é porque eles estão numa mesma temperatura, e o ar também com a mesma temperatura dos dois. Então eles vão ter que transferir... Pra chegar num equilíbrio térmico, eles vão ter que transferir (expressão incompreensível)

Entr.: Então, o que determina, aí, é só a temperatura? O material, então, não interfere na quantidade de calor, não?

Max: Na quantidade de calor, não.

Entr.: (...) E pra esquentar esses dois materiais?

Alex: Fica mais fácil esquentar o prego.

Entr.: Fica mais fácil esquentar o prego, mas a quantidade de energia necessária pra esquentar...

Alex: A quantidade de energia pra esquentar o prego vai ser mais alta do que da água.

Entr.: Mais alta que a água...

Alex: Porque o prego vai chegar numa temperatura muito mais alta que a água. Pa ele esquentar cada vez mais, ele precisa de mais calor.

Entr.: Mas, supondo que eu estou esquentando até uma mesma temperatura...

Alex: A água vai precisar mais.

Max: A água vai precisar mais... Porque ela é mais densa, sabe?

Entr.: Ela é mais densa?

Max: É mais densa...

Entr.: Do que o prego?

Max: Não! (risos)

Entr.: Mas ela precisa de uma quantidade de calor maior pra esquentar do que o metal, do que o ferro? (...) E pra esfriar?

Max: Pra esfriar o...

Entr.: Aí o metal é mais ou é o mesmo tanto?

Max: Você está falando a mesma temperatura?

Entr.: A mesma temperatura. Nós estamos tentando controlar as variáveis, né? Vocês estão dizendo que temperatura é uma coisa que interfere aí. Então, estamos supondo as temperaturas iguais pra gente ver outra coisa além da temperatura. Tá legal?

Max: Acho que o prego vai... esfriar mais rápido que (...)

Alex: O prego esfria mais rápido.

Max: Ele tem a mesma temperatura da água.

Entr.: Sei. Por que será que o prego esfria mais rápido e esquentar mais rápido, hein?

Alex: Porque o ferro é um bom condutor de calor. Então, ele transfere calor pro ar. Então, no caso, ele vai esfriar mais rápido. Ele vai esfriar... A água ela vai esfriar, por exemplo, a primeira parte, que está próxima ao ambiente; depois, vai ser... Vai descendo, entendeu? Agora, o prego não...

Max: O prego já tem uma transferência total, assim, nele todo.

Neste contexto, podemos observar que Alex não consegue distinguir grandezas intensivas e extensivas. A quantidade dos dois materiais não é evocada como sendo importante para determinar a intensidade do calor transferido ao meio e cabe ao entrevistador propor a comparação de quantidades iguais para identificar as diferenças entre os materiais envolvidos. Tais diferenças, porém, são evocadas apenas para explicar a rapidez com que o calor é transferido, visto que existem bons e maus condutores de calor, que variam as superfícies de contato com o ar. A quantidade de calor transferida é a mesma quando as temperaturas iniciais são iguais e é maior no pequeno prego posto na mesa e na vasilha com um litro de água fervente, desde que a temperatura do prego seja maior do que a da água.

Se retomarmos a hipótese formulada por Alex na última questão do Teste 2, tais conclusões podem ser interpretadas melhor. Na mesma ocasião, ou seja, no Teste 2, Alex afirma: "*A temperatura é a medida do calor de um corpo...*". Portanto, se o calor está contido no corpo, a única variável relevante para determinar a quantidade de calor

transferido de um corpo a outro é a diferença de temperatura entre eles. Essa conclusão lógica, extraída, por dedução, de um sistema causal, cuja generalidade é cuidadosamente preservada pelo estudante, confronta-se com evidências empíricas, o que é negado, constantemente, por condutas do tipo beta – o que se altera é apenas a rapidez do fluxo de calor; a quantidade total é a mesma, desde que as temperaturas iniciais sejam iguais. Essa resposta, típica do subnível IIA, contrasta, como já dissemos na análise do Teste 2, com as demais produções do aluno, embora se observe, nela, a mesma característica racional de busca compor sistemas dedutíveis de grande generalidade. O que falta a Alex, neste caso específico, é lidar com a perturbação, em lugar de apenas evitá-la localmente.

De forma coerente com dados obtidos nos testes anteriores, o estudante apresenta uma compreensão adequada dos mecanismos de regulação térmica, destacando fatores que interferem na transferência de calor ao ambiente – diferenças entre a temperatura da pele e a do ambiente, superfície corporal, revestimento da superfície e transpiração. Outrossim, ele estabelece uma diferenciação adequada entre propagação de calor por condução e por convecção, embora demonstre dificuldades em utilizar o conceito de calor irradiado para explicar como a vela transfere calor para corpos situados ao lado ou abaixo dela.

Ao lidar com as transformações de energia e com os mecanismos de produção de calor, na Entrevista, Alex afirma que *“A energia dos nutrientes, dos alimentos, forma o calor; o organismo está sempre transformando... sempre transferindo calor.”* Convém, pois, comparar o enunciado atual, o de que a energia dos alimentos se converte em calor, com o outro, apresentado na primeira questão do Pós-teste, referente à *“contínua transformação de nutrientes em calor”*. Podemos observar que, em ambos os casos, inexistente a idéia de dissipação de energia na forma de calor, que acompanha os processos de conversão de energia – com exceção de situações idealmente forjadas, em que se eliminam todas as forças dissipativas. A degradação da energia, como já se viu, é um elemento fundamental para a compreensão de sua conservação. Apesar dessas lacunas, identificamos, no enunciado reproduzido acima, a busca de generalidade como característica das produções de Alex: *“o organismo está sempre transformando, sempre transferindo calor”*. Por tudo isso, consideramos que tais manifestações revelam um conhecimento correspondente ao subnível IIIA.

Outro problema consiste em saber onde e como o calor é produzido. Verificamos, neste caso, as mesmas limitações já observadas no Teste 2 – questão 4 –, conforme se pode inferir a partir da seqüência, igualmente transcrita da Entrevista:

Seqüência 3: Onde o calor é produzido?

(Após comentários acerca de suas concepções anteriores sobre as relações entre a circulação sanguínea e a produção de calor no organismo, reproduzidas na análise do Pré-teste.)

Entr.: E como é que vocês vêem o papel da circulação sanguínea nesse negócio da regulação da temperatura do corpo?

Alex: Em certo ponto, é mais ou menos isso, porque o sangue vai ficar quente de acordo com o negócio da respiração, e esse calor vai sendo transferido pros órgãos.

Entr.: Sei...

Alex: Então, vai aquecendo...

Entr.: Então, o sangue, de certa forma transporta o calor do órgão de produção de calor, que são as células e o restante do corpo.

Max e Alex: É...

Entr.: Então, sobra pra toda parte do corpo, do dedão do pé até a ponta do... Todas elas produzem calor?

Max: Não! Tem os tipos de células também, né?... Tipo... Como é?

Entr.: Você está dizendo... A produção de calor no corpo onde acontece?

Alex: No tórax.

Entr.: Só no tórax?

Alex: É. A produção de calor é...

Entr.: Só as células que estão na região torácica produzem calor?

Max: É...

Entr.: E, aí, o sangue transporta isso pro resto do corpo? As do meu braço, por exemplo, do meu dedo, não produzem calor?

Max: Não...Acho que não. Eu estava falando, aqui, em calor... Por isso que, às vezes, em dias mais frios assim, a temperatura daqui vai estar diferente que a do tórax. Porque...

Alex: Até o sangue chegar aí, já...

Max: Até o sangue chegar aí, já perdeu muito calor pro suor.

Entr.: Mas, aqui, não há produção de calor nenhuma?

Max e Alex: Não. Eu acho que não.

Entr.: Essas células só recebem energia. (...)

Max: Não tenho muita certeza não.

Alex: Pelo menos, ele é transformado aqui [apontando para seu abdômen].

Entr.: O alimento é transformado no aparelho digestivo? E, aí, depois que ele é transformado no aparelho digestivo, você já tem os nutrientes, né? São transportados (...) Não é assim? Como é a produção de energia a partir desses nutrientes? Vamos tentar lembrar um pouco isso.

Max: Tipo você tem, assim, no aparelho digestivo. Ele chega quando... Ele sofre, assim... processos químicos, né? Daí, com esses processos, o alimento é convertido em energia. Assim...

Entr.: Com quais nutrientes acontece isso?

Max: O açúcar, os sais minerais...

Entr.: Os sais minerais também?

Alex: Não. Os sais minerais, não. Na respiração celular, é... Na respiração celular, usa glicose.

Max: Açúcar...

Entr.: O que acontece com esses açúcares? Que transformação química é essa?

Alex: A respiração celular, não é isso? A glicose com o oxigênio transforma em... A respiração celular dá carbono e água.

Pela inexistência, para ele, de diferenciação e integração entre sistemas digestivo, respiratório e circulatório, Alex conclui que o sangue apenas transporta o calor produzido na região do tórax e do abdômen. Mais uma vez, isso reflete um entendimento que, embora compondo estruturas de conjunto, não integra os sistemas de modo completo, o que se traduz em lacunas e erros.

Quanto ao conceito de energia, o aluno reafirma suas próprias convicções a respeito da transformação e conservação dela, sustentando-as mesmo em situações em que a idéia é fortemente contra-intuitiva.

Seqüência 4: Para onde foi a energia?

(Entrevistador e alunos conversam sobre respiração e processos de produção de energia nos organismos.)

Entr.: A energia também seria uma substância, um material, coisa assim?

Alex: Energia?

Entr.: O que é energia afinal de contas? O que vocês associam à energia?

Max: Ah, um recurso, uma força assim (...)

Entr.: (...) É uma pergunta difícil, né? A gente fala muito em energia, mas sempre (...) Eu não quero definição. Não. Eu quero que a gente converse um pouco sobre o que a gente entende... O que, mais ou menos, é isso, né? Idéias que a gente associa à energia, idéias que a gente associa com essa coisa de falar: o calor é uma forma de energia. Tá, tudo bem! Mas... E daí?

Max: Uma coisa que pode ser transformada...

Entr.: Uma coisa que pode ser transformada...

Max: Renovada...

Entr.: Energia é uma coisa que se conserva?

Max: Não...

Alex: No caso... quando... a energia pode ser transformada, não pode ser destruída nem criada, só transformada.

Entr.: Me dá um exemplo disso.

Alex: No caso que a gente está estudando agora, das hidrelétricas, por exemplo.

Max: Energia potencial, cinética.

Alex: A energia química da pilha, quando passa por aqueles condutores elétricos, ela vai ser transformada em energia elétrica, vai chegar no radinho... Você tem energia elétrica transformada em...

Max: A energia pode ser transformada.

Entr.: É... Você tem, por exemplo, numa lâmpada, energia elétrica transformada em energia luminosa e a energia... Tá. Ela pode ser transformada, ela é transformada nos processos, né? E ela pode ser armazenada também?

Max: Armazenada?

Entr.: É...

(alunos ficam em silêncio)

(O entrevistador propõe uma nova situação: risca, diante dos alunos, um fósforo e, pouco depois, apaga-o.)

Entr.: Nessa brincadeira, a energia se conservou?

Max: Não. Ela foi transformada em energia de calor, assim, pro ar da chama dela... A energia extinguiu. Assim... acabou... Foi transformada pro ar...

Entr.: Ao ser transformada pro ar, ela se extinguiu?

Alex: Não, ela continuou...

Max: (...) Ela continuou até acabar o combustível, assim, dela

Alex: *Ela sempre continua...*
Max: *Ela continua, só que ela transformou em outra forma de energia...*
Entr.: *Se eu não tivesse soprado (...) De onde saiu a energia que produziu essa chama?*
Max: *Saiu do atrito.*
Alex: *Saiu dos materiais... A força pra ela continuar a queimar...*
Max: *Combustível, oxigênio. Então, teve...*
Entr.: *Qual é o combustível dela?*
Max: *A madeira.*
Entr.: *A madeira. E antes da madeira?*
Alex: *Antes da madeira?*
Entr.: *Se pegar só a madeira...*
Max: *A força, aqui, deu um impulso pra formar a energia; tem um atrito aqui...*
Alex: *Há um atrito, há uma transformação de calor: pegar, assim, vai esquentar...*

Nota-se, nos enunciados de Alex, uma grande convicção em relação aos esquemas de maior generalidade e abrangência, que permitem deduzir princípios e compreender processos, mesmo quando suas suposições são, aparentemente, refutadas pela experiência imediata. A questão do armazenamento de energia não é respondida diretamente, mas evocada quando ele supõe que a energia produtora da chama se origina dos "*materiais... A força para ela continuar a queimar...*". Do mesmo modo e de forma bastante satisfatória e incomum em um estudante de 8ª série do Ensino Fundamental, ele esclarece que a energia da chama não se perde: continua sempre ao ser transferida para o ar.

Mais adiante, na mesma entrevista, Alex destaca os processos energéticos nas relações organismo/meio, que constituíam uma das principais diretrizes da unidade: "*O alimento é uma fonte de energia pro corpo e o corpo vai ser uma fonte de energia pro ar*".

A comparação entre homeotermia e heterotermia, consideradas formas de adaptação dos organismos, foi proposta, na entrevista, como uma comparação entre a alimentação de dois animais adultos de mesmo porte – por exemplo, o homem e o jacaré. Os alunos foram solicitados a fazer inferências sobre a dieta alimentar desses dois organismos, do ponto de vista energético. A esse respeito, Alex afirmou:

“O homem vai transferir muito mais calor. Não, vai... ele vai perder muito mais calor que o animal heterotermo. O animal heterotermo, pelo fato de não ter um sistema assim, tipo circulação sangüínea, assim muito evoluído, ele mistura artéria com veia, sangue venoso com arterial, aquela bagunça... E o fato do isolamento da pele dele ser fraca, ele vai estar, mais ou menos, sempre na mesma temperatura do ambiente. Então, não vai haver uma grande perda de calor. Só quando a temperatura variar.”

Mais uma vez, o estudante brinda-nos com uma ótima compreensão dos fatores em jogo, inclusive os mais complexos, decorrentes da adaptação dos sistemas circulatórios de aves e mamíferos, com a conseqüente separação de sangue arterial e venoso. As relações dessa adaptação com a regulação térmica foi feita em um comentário da professora, numa das aulas, e é, no caso, corretamente evocado pelo aluno, mesmo que de modo lacunar. Por outro lado, ele demonstra coordenações capaz de superar a aparente contradição entre o fato de heterotermos possuírem fraco isolamento térmico e, apesar disso, apresentarem baixas transferências de calor ao meio. Isso só ocorre, segundo Alex, quando a temperatura ambiente sofrer grandes variações.

Em um comentário geral sobre a entrevista, podemos dizer que predominam, em Alex, raciocínios tipicamente trans-objetais, em estruturas de raciocínio de grande generalidade, coordenadas em sistemas de conjunto, o que permite deduzir e argumentar. São bastante freqüentes, nessa atividade, as coordenações do tipo IIIB e, eventualmente, IIIA, dadas, especialmente, às lacunas referentes à fraca integração entre as funções de nutrição – digestão, respiração, circulação e excreção. Não há evidência suficiente das concepções desse aluno acerca das transformações químicas, com eventual conversão de materiais em energia. A pergunta, feita no início da seqüência 4, foi evitada pelos dois entrevistados e a conversa acabou sendo dirigida a outros aspectos do problema.

Entretanto o que mais admira nas proposições de Alex é o fato de que, apesar de ter sido capaz de dar uma resposta favorável aos problemas propostos ao longo do curso, manteve um certo grau de indiferenciação entre os conceitos de calor e temperatura. Tais características, típicas do subnível IIA, possibilitam uma reflexão a propósito do ensino, seu planejamento e desenvolvimento.

5.3.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem

Os dados relativos aos processos de aprendizagem de Alex corroboram, em primeiro lugar, nossa hipótese inicial de que os níveis de entendimento compõem uma hierarquia de construções, mas não, um caminho linear, único e necessário, a ser seguido passo a passo. De um modo bastante evidente, identificamos grandes progressos em direção ao nível trans-objetal, com coordenações sistema-esquema, antes que tenham sido examinados todos problemas decorrentes das coordenações esquema-esquema, próprias do nível inter, e eliminadas suas contradições. Dito de outro modo, o

estudante manifesta construções típicas dos subníveis IIIA e IIIB, sem ter esgotado todas as características do nível II.

De fato, acompanhamos, nas produções de Alex, o estabelecimento e a consolidação da hipótese da conservação da energia, bem como a análise dos fluxos de energia entre organismo e meio. No entanto, tais construções são, ainda, marcadas pela indiferenciação dos conceitos de calor, temperatura e energia. Embora empregue corretamente os termos calor e temperatura – o primeiro nomeia os processos de transferência e o segundo, o índice comparativo que estabelece o sentido e a intensidade das transferências – ele não é capaz de distinguir a energia transferida da energia armazenada. Lidando com uma concepção de calor enquanto variável de estado, armazenado e contido no corpo, Alex recorre à temperatura como a única grandeza observável de que dispõe para a análise dos processos térmicos. Para ele superar as contradições e compor novas coordenações entre energia interna, temperatura e calor, precisaria deflagrar outro processo de equilíbrios majorantes, tendo em vista compor um sistema causal mais abrangente, que configurasse um modelo para a matéria e os fenômenos térmicos no nível microscópico.

É certo que este estudante representa um caso de sucesso na aprendizagem e uma manifestação clara de mudanças conceituais no seu sentido mais amplo. O que o distingue de outros colegas? Em primeiro lugar, o engajamento intelectual com o objeto de estudo proposto, o que se manifesta na disposição de refletir sobre os fenômenos e as explicações formuladas por ele mesmo, por seus colegas e pela professora. Podemos dizer que ele constrói o contexto de aprendizagem e assume sua direção. Ao final da entrevista, diante do questionário referente às estratégias de aprendizagem, comenta:

“Isso aqui eu acho mais importante. Olha só: ‘relacionar os conceitos e teorias com situações fora e dentro da escola’. Nesse caso aqui, eu acho importante a gente aprender isso, porque a gente... usando lá fora... É muito alguém perguntar por que acontece isso? E você poder explicar. Pra usar lá fora... Você usando lá fora, você vai aprender muito mais.... Vai aplicar uma coisa que você está aprendendo. Acho interessante.”

Contudo, apenas o engajamento e a conseqüente motivação não seriam suficientes para diferenciar o processo de aprendizagem de Alex e do de vários de seus colegas, entre eles, o próprio Max, igualmente envolvidos com o estudo. Poderíamos destacar como característica marcante do seu modo de lidar com a unidade a “aprendizagem por princípios” em lugar da “aprendizagem por eventos” ou da

“aprendizagem ritual” (EDWARDS & MERCER, 1987). Ao contrário de Max, por exemplo, que examina cada problema localmente, guiado por evidências e características do contexto, Alex lança mão de princípios que compõem um quadro geral e, assim, direciona a análise dos problemas que lhe vão sendo apresentados. Um desses princípios é bastante elementar: sempre que há diferença de temperatura entre dois corpos, ocorre transferência de energia do mais quente para o mais frio, com variação de temperatura de ambos, até atingirem o equilíbrio térmico. O segundo princípio que governa os modos como Alex enfrenta novos problemas consiste na crença, nada intuitiva, da conservação da energia. Donde provém sua confiança neste princípio e a decisão de considerá-lo como um guia para o exame de situações particulares?

Segundo PIAGET & GARCIA, os princípios de conservação decorrem de um caráter de necessidade lógica, ou seja, de uma exigência de *“igualização ou compensação entre o que é subtraído no princípio e o que é agregado no final”* (1982, p. 17). Essa decisão não advém da experiência, porque os argumentos a seu favor são de ordem lógica e não, empírica. Os princípios de conservação constituem, assim, uma espécie de aposta racional: passamos a observar os fatos a partir da suposição de que algo se conserva e a examinar, mediante a experiência, a razoabilidade de definir se esta ou aquela grandeza, de fato, se conserva. Talvez a forte convicção na substancialização do calor, como algo capaz de ser armazenado e transferido, tenha apoiado a crença de Alex em sua conservação, estendida a outras “formas” de energia (HALBWACHS, 1978). De qualquer forma, Alex mostra-se inclinado a seguir a direção da hipótese científica da conservação da energia, para avaliar o alcance e as repercussões dessa idéia. Ao fazê-lo, talvez orientado apenas por uma atitude de quem resolve admitir a regra de um jogo, ele vai, pouco a pouco, firmando sua confiança no princípio e revelando-se, cada vez mais, capaz de reconhecê-lo no campo dos fenômenos naturais. Ao mesmo tempo, é possível acompanhar-se um surpreendente progresso nos observáveis do estudante, o que constitui um indicador de que os princípios gerais servem de guia ao pensamento racional.

Essas observações nos levam a reflexões sobre estratégias de ensino. Na verdade, se o traço distintivo de uma aprendizagem bem sucedida consiste na consolidação de hipóteses gerais e ousadas, que configuram um novo modo de conceber e estruturar o real, torna-se razoável admitir a importância de um ensino estruturado em

torno de idéias-chave, cuja heurística positiva vai sendo examinada em contextos diversos. Assim, parece correta a decisão tomada, quando do planejamento da unidade, de se antecipar a hipótese de conservação da energia e de se subordinar o problema da regulação térmica nos organismos à questão, mais geral, das transferências de energia entre organismo e meio. Por outro lado, as possibilidades de aplicação dessa idéia devem extrapolar o contexto da unidade e perpassar todo o currículo do ensino de ciências. No caso dos alunos da turma submetida à pesquisa, a unidade didática “Produção de Energia: o Caso das Hidroelétricas” propiciou novo contexto ao estudo, iniciado com o exame das regulações térmicas nos organismos, da transformação, conservação e fluxos de energia. Certamente, outros módulos didáticos devem compor esse mesmo cenário ao longo do processo de escolarização, num nível crescente de abstração e complexidade.

Restam, ainda, os problemas concernentes ao modo como extrapolar os contextos de aprendizagem, que acabam por destacar aspectos particulares e locais, para avançar em direção às hipóteses gerais e norteadoras que caracterizam o pensamento científico. De fato, por mais importante que seja a contextualização enquanto elemento do ensino de ciências que aumenta as possibilidades de diálogo com o mundo a ser compreendido e transformado, não parece adequado afastarmos-nos do caráter estruturado e estruturador das ciências. Portanto, os problemas e contextos propostos devem subordinar-se sempre a idéias, conceitos e princípios gerais, que ultrapassam os limites do contexto e guiam o pensamento. Então, o que deve caracterizar a educação científica é exatamente esse novo modo de conceber o real, de organizar o campo da experiência com um novo e inusitado olhar (SARAIVA, 1991). Para tanto, ao se organizar o ensino, não basta contar com contextos significativos de vivência dos estudantes; é preciso, sobretudo, analisá-los sob uma nova perspectiva, guiado por conceitos estruturadores, centrais no desenvolvimento histórico da ciência. Essas idéias tornam-se referência que possibilita o enfrentamento de problemas ainda não examinados.

Por via de conseqüência, ao ensino centrado na “resposta correta”, contrapõe-se o ensino voltado para a formação de competências. O caso de Alex – e o paralelo com seu colega Max – nos indica que o aumento da competência significa, sobretudo, a posse de instrumentos qualificados para enfrentar novos problemas. Sem essas diretrizes gerais do pensamento, cada nova situação vai ser examinada sempre em seus aspectos

particulares, cujas características quase sempre desviam a atenção e conduzem a respostas *ad hoc*. O que faz crescer a competência do sujeito não é a posse da “resposta certa”, sempre localizadas e específicas, mas a condição de resolver novos problemas, ampliada pela posse de ferramentas intelectuais que se revelaram “poderosas” no curso da história da ciência.

É importante salientar que, mesmo se estruturando o ensino desse modo, os estudantes podem sempre, seduzidos pelo contexto ou, até, confundidos por ele, abandonar o que é geral e examinar apenas circunstâncias particulares. O único recurso que o professor tem para contornar esse problema consiste nas marcas do ensino, nas questões e perguntas que dirigem a aprendizagem. Isso exige, dele, um domínio dos fundamentos da ciência que é ensinada, o que compõe um desafio para a formação docente. Segundo uma pesquisa recentemente realizada entre professores do Ensino Médio das redes estaduais de Minas Gerais e do Espírito Santo (PAIVA, 2000), parte significativa dos professores de ciências naturais não revela convicção em princípios básicos e estruturadores da racionalidade científica – ou seja, por exemplo, dos professores que compunham a amostra, 26% dos de física, 38% dos de química e 27% dos de biologia acreditavam ser possível aumentar a quantidade de energia do universo.

Consideremos, agora, os aspectos negativos das produções de Alex, ou seja, os conteúdos que se afastam das representações científicas no domínio da Termodinâmica. A intenção é a de que, ao fazê-lo, possamos obter mais critérios para julgar a adequação das escolhas e decisões tomadas no planejamento e no desenvolvimento do ensino da unidade selecionada para estudo.

Em primeiro lugar, convém destacar que as construções efetuadas pelo estudante são suficientes para resolver os problemas de regulação de temperatura nos seres vivos tais como foram apresentados no contexto da unidade. Exceção feita apenas à integração das funções de nutrição num todo mais coerente, o que implicaria novas suposições acerca do papel da corrente sanguínea na regulação térmica, e ao entendimento mais adequado do que seja uma reação química. Suas convicções sobre o calor como algo localizado, guardado, contido e transferido de um lugar a outro, embora também transformado a partir de outras formas de energia, não constituem impedimentos para o exame das situações que lhe foram apresentadas ao longo do estudo. Pelo contrário, como vimos, podem ter-lhe sido úteis na sustentação da hipótese de conservação.

Na construção de um currículo temático, adotamos a mesma decisão do Projeto Salters, da Universidade de York, introduzindo conceitos apenas quando se fazem necessários ao desenvolvimento do trabalho no contexto de investigação criado pela unidade (LAZONBY, NICOLSON & WADDINGTON, 1992). Podemos, agora, examinar o alcance e as conseqüências dessa proposição ao planejamento curricular. O extrapolar-se o contexto da unidade e o conferir-se maior ênfase em situações de domínio da calorimetria redundam em melhor compreensão das relações entre calor e temperatura, a nível fenomenológico? Ou, mais do que isso, é necessário investir-se na construção de modelos de constituição da matéria e enfocar-se a reinterpretação dos fenômenos térmicos a partir dela?

No primeiro caso, trata-se somente da extensão de algumas atividades propostas, o que não afeta, de modo mais radical, o planejamento proposto. É certo que tal decisão significa dar-lhe um cunho mais conceitual e menos temático, ou seja, na medida em que o contexto não oferece oportunidades para a diferenciação de conceitos, lança-se mão de outros contextos não diretamente vinculados ao problema central de investigação proposto na unidade. Neste caso, os desafios lançados servem para estender as coordenações esquema-esquema, porque insuficientemente desenvolvidas pelos estudantes – e em particular, por Alex. Isso resulta numa melhor coordenação dos conceitos envolvidos, sem uma modificação das atribuições, isto é, restritos ao domínio da legalidade e não, da causalidade. Como salienta SILVA (1995), a diferenciação entre calor e temperatura, nesse nível de elaboração, independe das hipóteses sobre a natureza do calor – se substancializado ou se relacionado ao movimento das partículas.

Ao contrário, se optássemos por abranger, em nosso estudo introdutório, aspectos ligados ao modelo cinético molecular da matéria, isso implicaria em modificar aspectos centrais das representações referentes ao calor e à temperatura. Significaria, sobretudo, um salto nas coordenações e tipos de inferências envolvidas, num nível de complexificação muito superior ao que foi inicialmente definido.

A nosso ver, os dados de Alex são exemplares, na medida em que ele chega próximo ao limite de um certo modo de conceber os fenômenos térmicos, sem o auxílio de modelos de constituição da matéria, o que oferece indicadores dos limites e possibilidades desse tipo de abordagem do tema. Assim, é possível perguntarmos: Para esse tipo de aluno, que auxílio pode oferecer uma abordagem, mesmo que lacunar e meramente introdutória, do modelo cinético molecular da matéria e suas suposições

quanto aos fenômenos térmicos? É impossível prever os impactos desse tipo de abordagem para esse ou aquele aluno. Podemos, entretanto, trabalhar com uma gama de possibilidades e, então, tomar decisões que serão, elas mesmas, objeto de reflexão para um novo planejamento e assim por diante, num agir/refletir/agir sem fim.

Podemos, em primeiro lugar, supor que, assim como o Princípio de Conservação de Energia, ainda que estabelecido sem muitas evidências e apenas como suposição de partida, teve repercussões positivas no desenvolvimento cognitivo de Alex, também a apresentação das hipóteses do modelo cinético poderia exercer o mesmo papel.

Por outro lado, é certo que, ao abrirmos essas novas perspectivas, elas exigem um trabalho paciente de reconstrução de observáveis, de estabelecimento de novas coordenações esquema-objeto, esquema-esquema e esquema-sistema. Usando-se uma metáfora, seria como avançar sobre o território inimigo numa frente de batalha, o que exige um longo esforço posterior para consolidar posições, para conquistar territórios até então desconhecidos. Um grande número dessas novas conquistas pode constituir-se em elemento adicional de imobilização dos estudantes frente aos reconhecidos obstáculos, na construção dos conceitos e teorias da Física Térmica.

Na construção dessa unidade e em seu desenvolvimento em sala de aula, fomos orientados por esta última hipótese. De qualquer modo, nós, professores, agimos como juízes, emitindo julgamentos a partir de jurisprudências e não, de verdades (GAUTHIER et al., 1998, p. 316). O sentido do modelo de ensino por nós proposto está, exatamente, em permitir tornar públicos e mais reflexivos os elementos que compõem tais jurisprudências, cujos méritos não saberemos nunca se são os mais adequados a cada novo contexto de interações e frente às diversidades e singularidades dos sujeitos educandos. Contudo o que qualifica o ensino é, com certeza, a capacidade de submeter seus julgamentos à reflexão e à crítica. Examinaremos o problema das possíveis repercussões desse tipo de tratamento, ao lidar com outros casos, em particular, o de Leonardo.

5.4. Examinando Trajetórias: Fabiana (2º Caso)

O caso de Fabiana é exemplar na medida em que ela integra o grupo de estudantes que tiveram um desempenho mais fraco no desenvolvimento do curso. Durante o primeiro mês, mostrou-se muito dispersa e desinteressada. Depois da primeira aula extra, realizada com os alunos que apresentaram baixo rendimento no

primeiro teste, passou a participar mais das aulas, apresentando as conclusões em nome do grupo do qual fazia parte. Apesar desse esforço, porém, notamos que os progressos obtidos por ela foram ainda tímidos. Passaremos a analisar, na seqüência, alguns indicadores da trajetória da aluna ao longo do curso.

5.4.1. Análise do Pré e do Pós-Teste

Parece-nos instrutivo, neste caso, comparar diretamente os dados do Pré e do Pós-teste. Para tanto, apresentamos, no quadro que se segue, a transcrição de suas respostas ao mesmo instrumento nos dois momentos – antes e imediatamente após o final do curso. Primeiramente, vamos caracterizar o padrão das respostas ao Pré-teste, analisando em conjunto a primeira coluna desse quadro para, então, comparando as respostas apresentadas em cada uma das linhas do mesmo quadro, destacar a qualidade das mudanças indicadas pelo Pós-teste.

PRÉ-TESTE - 07/06/99	PÓS-TESTE - 27/08/99
<i>1-A pele deve funcionar como um isolante térmico, isto é, se tiver frio ou calor, a pele terá sua própria temperatura.</i>	<i>1-A pele é um isolante térmico. Se estiver frio ou calor, o nosso organismo fica com a mesma temperatura. Nós somos homeotermos, isto é, independente da temperatura do ambiente, a temperatura do nosso corpo não muda.</i>
<i>2-O ar que sai do ventilador, em contato com o corpo, faz com que a temperatura do corpo, que está quente, volte à temperatura normal.</i>	<i>2-Nós transpiramos, pois a atividade física aumenta a circulação e a temperatura corporal é que tem que ser liberado de alguma maneira. E o ventilador movimenta o ar em nossa direção, fazendo o ar entrar em contato com a pele e haver transferência de calor entre o nosso corpo e o ar, através de condução. O objeto mais "frio", no caso o ar, transfere isso (o ar frio) para o nosso corpo. Assim, sentimos calor.</i>
<i>3-Com exercícios físicos, o nosso corpo transpira fazendo o corpo ficar quente, independente de calor ou frio.</i>	<i>3-Com a atividade física, acelera a produção de calor [que] é causada pela respiração celular também acelerada e o nosso corpo é aquecido por causa da circulação constante e rápida.</i>
<i>4-Com agasalhos mantemos a temperatura que está entre o nosso corpo e a blusa estável, pois o calor conserva entre os dois e, esfregando uma mão na outra, produzimos calor, por causa do contato da pele.</i>	<i>4-Os tremores são respostas do nosso organismo quando está com frio, para ver se nós fazemos alguma atividade muscular que ative os músculos. A pele fica ressecada, pois as glândulas sudoríparas não agem constantemente. Para aquecer, colocamos agasalhos para manter a temperatura que está entre o nosso corpo e a blusa estável. E, esfregando as mãos, produzimos calor por causa do contato da pele.</i>

<p>5-Sim. A pedra de gelo está mais fria do que o gelo. Quando colocamos uma coisa gelada em outra mais quente, elas vão tentar se estabilizarem. O gelo irá derreter e o suco, ficar mais gelado.</p>	<p>5-Sim. Há transferência de calor, porque o material mais quente está passando energia para o material mais frio. O gelo transferiu a sua energia para a limonada e, assim, foi perdendo seu calor e derrete. E a limonada está mais gelada pois ela transferiu seu calor para o gelo, fazendo-o derreter.</p>
<p>6-O café irá, cada vez mais, perdendo a temperatura, irá passar do quente para o frio, por causa da temperatura ambiente. Se assoprar o ar da boca, que é mais frio, faz o ar quente misturar e tornar o café mais frio.</p>	<p>6-O café quente transfere seu calor para o copo e para o ar a sua volta e, assim, ele perde a sua temperatura irá se estabilizar, ocorrendo o equilíbrio térmico entre ele e o ar a sua volta. Se assoprarmos, ele esfriará, porque o ar quente entra em contato com o ar frio, fazendo-o esfriar, pois perdeu energia.</p>
<p>7-Acho que as temperaturas são diferentes, pois cada material tem a sua temperatura.</p>	<p>7-A temperatura dos corpos são iguais, mesmo parecendo diferentes, pois o metal conduz mais calor. Mas acho que os outros são iguais também, pois, com o tempo, os materiais atingem um equilíbrio.</p>
<p>8-O nosso organismo, quando está com febre, fica sensível ao frio. O nosso corpo fica com a temperatura mais elevada do que a temperatura ambiente, fazendo o corpo sentir frio.</p>	<p>8-Quando estamos com febre, sentimos frio, pois a transferência de calor do corpo para o ambiente é maior; por isso que a temperatura se eleva.</p>

De modo geral, as respostas dadas ao Pré-teste configuram um olhar centrado em objetos, intra-objetal, com mecanismos explicativos inexistentes ou incipientes, já que fundados nas qualidades e atributos dos objetos, com poucas relações objetivamente destacadas. Assim, na primeira questão, o isolamento térmico da pele é apontado como responsável pela manutenção da temperatura corporal. No entanto o isolante térmico é explicado como algo que mantém sua própria temperatura e não, como revestimento que diminui as transferências de calor entre dois sistemas a diferentes temperaturas. Podemos destacar que a aluna não considera a pele como fronteira entre dois sistemas, ou entre um sistema e sua vizinhança, nem, tampouco, as interações entre eles. A temperatura da pele é considerada idêntica à do próprio corpo, na medida em que constitui parte dele. A temperatura da pele – e, por extensão, do corpo – é um atributo próprio deste.

Ainda analisando o Pré-teste, na segunda questão, Fabiana destaca qualidades da temperatura – quente ou normal –, conforme sensações que provocam e não evoca mecanismos, ou processos, que expliquem como o ar, que sai do ventilador, esfria o

corpo ao entrar em contato com ele. Assim como indicado pela resposta anterior, podemos dizer que se trata de uma resposta característica do subnível IA.

Na terceira questão do Pré-teste, Fabiana apresenta uma cadeia causal linear, com inversão das relações causa/efeito: os exercícios – evento A – provocam a transpiração – evento B –, o que faz o corpo ficar quente – evento C. Neste caso, por insuficiência dos mecanismos que conectem os eventos entre si, B pode ser considerado como causa de C ou vice-versa. A transpiração aparece como evidência do calor e não, como mecanismo regulador acionado pelo organismo. Podemos conseqüentemente, destacar a diferença entre a simples constatação de regularidades, típica do subnível IB, e o estabelecimento de vínculos causais entre os fatores em jogo.

A quarta questão revela duas características dos modelos adotados por Fabiana. Em primeiro lugar, ela supõe que o calor possa ser localizado espacialmente, o que indica seu vínculo com uma categoria ontológica ligada à “matéria”. Convém, ainda, ressaltar o significado atribuído à expressão “conserva” – usada no sentido de “localiza-se” ou “é guardado em” –, que muito se distancia da idéia de invariância. O calor encontra-se na pele, no corpo, sendo próprio dele, o que reforça o sentido dado pelas duas primeiras respostas. Em segundo lugar, a aluna considera que o contato entre as mãos pode produzir calor, o que corresponde à sensação, mas não, aos processos físicos envolvidos. O simples contato entre as mãos gera a sensação de calor, contudo não podemos dizer que haja produção dele – não há menção ao atrito, mas apenas ao contato –, nem, tampouco, transferência de calor entre dois objetos à mesma temperatura. A resposta não atinge o subnível IIA, porque se baseia nas sensações, mas ultrapassa o IA, na medida em que o calor se apresenta como constructo ontológico explicativo.

A quinta questão do Pré-teste revela pouco: a aluna fala em estabilização do gelo e da limonada, referindo-se à transformações de ambos – o gelo derrete e o suco fica mais gelado. Não podemos, entretanto, decidir se a relação assim estabelecida se refere ao subnível IB ou ao IIA, visto que a aluna não esclarece o que é “estabilização” nem como é alcançada.

Na sexta questão, o resfriamento natural do café não evoca o conceito físico do calor, mas apenas a constatação de perda de temperatura. Quanto à atribuição de frio ao “ar que sai da boca”, esse fato revela, mais uma vez, como as sensações comandam a leitura dos observáveis de Fabiana, mesmo quando levam a conclusões potencialmente

contraditórias – Como poderia ser “frio” o ar que sai do interior do corpo humano? Neste caso, o frio do ar vai se misturando ao calor do café, como numa mistura de materiais, constituindo uma resposta típica do nível IB.

A sétima questão reforça esse entendimento intra-objetal, com a convicção exposta de que a temperatura é uma propriedade específica dos materiais. Quanto à resposta dada à última questão do Pré-teste, podemos dizer que, se, por um lado, relativiza as sensações térmicas – o corpo torna-se mais sensível ao frio –, por outro, não envolve indícios de mecanismos reguladores da temperatura corporal. A contradição entre “sentir frio” e apresentar temperatura mais elevada não parece, tampouco, ser observável para a aluna. Podemos, concluir, pois, afirmando o predomínio, no Pré-teste, de explicações incipientes e centradas em sensações e atributos dos objetos, típicas do subnível IB.

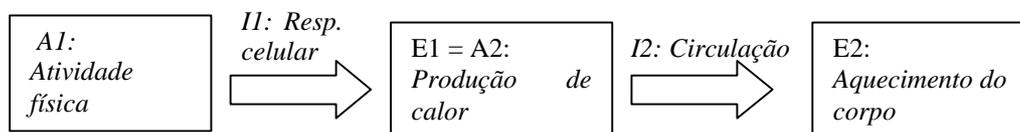
Isso posto, passemos à análise comparativa das respostas do Pós-teste. Ao examiná-las, observamos que há uma sofisticação nas respostas, e a tentativa de uso de uma linguagem mais científica, marcada pelo estabelecimento de cadeias causais. Apesar disso, porém, predominam algumas das coordenações anteriores, com evidências de assimilação deformante dos conceitos científicos de calor e temperatura.

Assim, na primeira questão, Fabiana retorna à consideração da pele como isolante, o que explicaria a independência entre as temperaturas corporal e ambiente nos homeotermos. Ela não faz referência a mecanismos reguladores ou à obtenção de calor pelos organismos. Poderíamos parafrasear sua resposta do seguinte modo: *“O corpo é quente e está isolado; então, permanece quente”*.

Na segunda questão, a aluna modifica as relações causais anteriores: a atividade física – evento A – provoca aumento da circulação sanguínea – evento B – e da temperatura corporal – evento C –, sem vínculos aparentes entre os dois efeitos mencionados. Nota-se, além disso, uma indiferenciação entre “temperatura liberada” e calor transferido, bem como um indício de vínculo finalista, sem referência a mecanismos reguladores. Quanto às interações entre o “ar frio” e a pele, Fabiana mantém a dicotomia entre os dois atributos – frio/quente –, com predomínio do mais evidente – nesse caso, o agente é o “ar frio” que passa para o corpo humano.

Pelo contrário, sua resposta à terceira questão revela avanços mais significativos, com predomínio de vínculos causais mais consistentes, embora ainda encadeados

linearmente: a atividade física provoca aumento na produção de calor, mediante a respiração celular acelerada, produzindo uma circulação sanguínea constante e rápida, que aquece o corpo. Essas relações podem ser representadas nestes de diagramas causa-efeito:



A1 e A2 = agentes; E1 e E2 = efeitos (eventos); I1 e I2 = instrumentos.

Essa estrutura causal, semelhante à descrita por ANDERSSON (1986), ao caracterizar formas predominantes nas concepções dos estudantes, apresenta alguns progressos, dignos de nota. Em primeiro lugar, os agentes e os efeitos considerados tratam de eventos e não, objetos. Além disso, os “instrumentos” envolvem processos abstratos – respiração celular e circulação sanguínea –, embora o texto de Fabiana não seja suficiente para permitir inferir-se sua compreensão deles. Finalmente, embora linear, ela envolve um conjunto de fatores bem coordenados entre si, ainda que, lacunar quanto às transformações que conduzem de A1 a E1 e deste a E2. Trata-se, portanto, de uma explicação de tipo inter-objetal, de nível II, que envolve coordenações esquema-esquema.

Do mesmo modo, identifica-se na resposta à quarta questão do Pós-teste referência a mecanismos reguladores da temperatura, o que sinaliza um olhar dirigido a transformações que explicam os estados. Entretanto, na continuidade, a aluna mantém a noção de “produção de calor por contato da pele” e a idéia de localização, agora atribuída à temperatura e não mais, ao calor, o que constitui um forte indício de indiferenciação. No que se refere ao último aspecto, poderíamos interpretá-lo de outro modo, admitindo a frase “*manter a temperatura que está entre a pele e o agasalho*” como expressão apenas de uma falta de atenção na redação da aluna, que poderia ser entendida como “*manter a temperatura do ar que está entre a pele e o agasalho*”. Concluindo, enquanto a primeira parte da resposta a essa questão remete ao subnível IIA, no que se refere aos fatores fisiológicos envolvidos na produção de calor, a segunda parte, relativa aos princípios e conceitos físicos correspondentes, nos parece conduzir de volta ao subnível IB.

A resposta à quinta questão apresenta, de modo claro, a atribuição de duas qualidades do calor – quente ou frio – nas interações térmicas, o que configura, mais uma vez, uma explicação intra-objetal, de subnível IB. Assim como o calor, também a

energia envolve aspectos dicotômicos, e a “troca” de energia explica, então, cada um dos efeitos observados com uma causa específica a cada um dos efeitos, sem reciprocidade.

Ao responder à sexta questão, Fabiana revela, mais uma vez, a indiferenciação de conceitos – o café transfere seu calor e, assim, perde sua temperatura. Convém destacar um avanço relativamente à idéia de um estado final de equilíbrio térmico, embora o texto formulado seja ambíguo quanto ao sentido da transferência de energia. O conceito de equilíbrio térmico é, também, evocado na resposta à sétima questão, que apresenta a mesma lacuna no que diz respeito aos mecanismos que conduzem a ele.

Na última questão, a aluna manifesta, outra vez, um raciocínio internamente inconsistente e contraditório, quando se trata de relacionar, simultaneamente, mais de dois fatores. É razoável admitir-se que sentimos frio – evento A – porque aumenta a transferência de calor para o ambiente – evento B –, mas Fabiana conclui afirmando que “por isso”, a temperatura corporal se eleva – evento C –, o que seria inadmissível. No entanto, pelo comentário feito ao final do teste, ela não demonstra qualquer consciência dessas contradições: “... acho que a maioria das minhas respostas do anterior [Pré-teste] estavam incompletas e erradas. Mesmo sem saber muito do assunto, eu consegui fazer esse segundo exercício com uma certa facilidade. Acho até que fui bem.”

Se compararmos os textos da aluna nas duas ocasiões, notamos que Fabiana tenta apropriar-se do discurso científico, mas, em face da inexistência de princípios físicos mais consistentes e com dificuldades visíveis no encadeamento causal dos eventos, não consegue manter uma produção consistente. Isso nos leva a concluir que há um relativo progresso no nível dos observáveis e das relações, mas o mesmo não ocorre no nível dos mecanismos e modelos explicativos.

5.4.2. Análise das Avaliações

Teste 1

Como já foi dito, Fabiana tem um desempenho fraco no primeiro teste, realizado ao final do primeiro mês do curso. Ao analisarmos suas respostas, surpreende-nos, uma vez mais, a presença de argumentações logicamente inconsistentes. Enquanto, na

questão 1.2, a aluna faz referência a atribuições de qualidades ao calor, no item seguinte nega sua existência:

1.2. “(V) – *Eu acho que, quando faz frio, o nosso corpo e os outros materiais esfriam, transferindo esse ‘calor frio’ para os outros.*”

1.3. “(F) – *Existe apenas o calor. O termo frio é usado apenas para relacionar com outros objetos.*”

Podemos dizer, ainda, que, em sua resposta ao item 1.2, ela não explicita discordância com relação à afirmativa fornecida – que deveria ser julgada falsa ou verdadeira –, segundo a qual, em dias de frio, “*nosso corpo recebe o calor frio dos materiais a baixa temperatura*”. Fabiana, utilizando a mesma ontologia do calor e do frio, afirma que, nas circunstâncias descritas, o corpo esfria e, portanto, é ele que fornece “*calor frio*” à vizinhança e não, o contrário. Podemos, então, constatar uma dificuldade da aluna em operar com proposições lógicas, pelo menos nos domínios relativos à explicação física dos fenômenos.

Na questão 1.1, a estudante não reconhece a possibilidade de transferências de calor do organismo para o ambiente. Embora não desenvolva sua justificativa, podemos, à luz das formulações feitas na resposta à primeira questão do Pré-teste, supor que essa negativa seja condicionada pela manutenção da temperatura corporal. Segundo tal perspectiva, o corpo não poderia perder calor para o ambiente, por que sua temperatura é constante.

Nos outros itens, as respostas dadas são parcialmente corretas, mas apenas constata regularidades, sem evocar mecanismos e processos. Assim, por exemplo, Fabiana afirma a igualdade de temperaturas de objetos no ambiente – questão 2 –, porém não explica as razões das diferentes sensações por eles provocadas.

Resumindo, podemos afirmar que, no Teste 1, a aluna oscila entre os subníveis IB e IIA, com predomínio do primeiro. Após comentários em sala, a correção ao teste foi realizada por ela de maneira satisfatória.

Atividades Extraturno e Extraclasse

A primeira aula realizada, em horário extraturno, com os estudantes que estavam tendo dificuldades com o conteúdo, oferece-nos um registro significativo da trajetória de Fabiana ao longo do curso. Na ocasião – segunda semana do mês de agosto –,

háviamos já corrigido e comentado o Teste 1 – realizado, antes do recesso, no mês de junho – e propusemos uma série de atividades do tipo “Preveja, observe e explique”⁵.

Nas questões referentes ao equilíbrio térmico, Fabiana, assim como seus colegas, demonstra capacidade de explicar, de maneira adequada, as sensações ao tato como resultado de interações térmicas das mãos com determinados objetos, cuja intensidade e rapidez dependem da condutividade térmica dos materiais de que são constituídos. Entretanto, ao compararem situações em que o metal e a madeira eram colocados em ambiente mais frio – sereno da manhã – ou aquecido – forno a 50 °C –, deduzem, incorretamente, que *“o metal transmite sensações mais rápido do que a madeira”*.

Em relação ao grupo, Fabiana manifesta dificuldades no entendimento da primeira situação proposta, quando se solicita a descrição do que ocorre e quando se aproxima a mão de uma pedra de gelo⁶. Na ocasião, um dos outros alunos, Raf, procura esclarecer as diferenças entre “troca” e “transferência” de calor, mas Fabiana manteve, em seu relatório, a conclusão de que *“o gelo transferiu seu calor para a mão”*. Em todas as suas outras respostas, ela utiliza corretamente o sentido das transferências de calor e, na última, conclui com um enunciado de maior generalidade, em franca contradição com a interpretação anterior: *“O metal irá transferir calor para a água. Sempre o material mais quente transfere calor para o de temperatura mais baixa. As temperaturas ficarão, mais ou menos, na temperatura do ambiente.”*

Fabiana demonstra, ainda, dificuldades na previsão de temperatura final de equilíbrio, quando da discussão referente à mistura de quantidades iguais de água a 90 e a 10 °C, respectivamente. O grupo discute entre a previsão de 50 °C – média entre as temperaturas dadas – ou 45 °C – a temperatura da água quente dividida igualmente pelas duas porções de água. Fabiana inclina-se mais para a segunda opção, mas acaba apresentando ao grupo uma terceira previsão, de 40 °C, obtida pela diferença das temperaturas iniciais. Essa operação revela seus problemas na compreensão dos conceitos de calor e temperatura e na atribuição do frio por oposição ao calor. Entretanto, em seu relatório, ela conclui corretamente: *“A temperatura estará entre 40 e 45 °C. Na hora em que colocamos a água quente com a fria, a temperatura mais alta vai diminuir e a fria irá aumentar, até elas chegarem num ponto de média entre as*

⁵ No anexo 6, reproduzimos o roteiro dessas atividades. Gravamos em vídeo a seqüência da realização delas pelos estudantes e recolhemos, ao final da aula, as respostas formuladas deles, individualmente.

⁶ Essa situação foi, também, utilizada na Entrevista, após o final do curso.

duas. Depois, a água entra em contato com o ar e irá acontecer o equilíbrio térmico, isto é, a água fica, mais ou menos, da temperatura ambiente". Devemos notar que as interações térmicas entre as duas porções de água e entre elas e o ambiente são vistas como cadeia de acontecimentos seqüenciais e não, simultâneos. Desse modo, assim como no Teste 1, a aluna oscila entre os subníveis IB e IIA, mas, agora, com predomínio do segundo.

Outro indicador da aprendizagem de Fabiana pode ser avaliado em uma tarefa, feita em casa, em que se solicitava a síntese de uma discussão, realizada em sala de aula, sobre a questão: *"De onde vem a energia que nos mantém aquecidos?"*. Para isso, os alunos poderiam consultar a apostila, mas deviam produzir um texto próprio. Reproduzimos, abaixo, a síntese de Fabiana:

"Aprendemos que, num ambiente de 35°, mais ou menos, a temperatura do corpo aumenta por causa da transpiração. Esse é o modo no qual o corpo responde às altas temperaturas.

Eu acho que nosso organismo produz energia através dos alimentos. Estes, através da digestão, os transforma em nutrientes, que o sangue leva às células para elas transformar isso em energia.

O nosso corpo tem que ter uma temperatura maior do que a do ambiente. É através desse calor que o corpo transfere energia para o ambiente.

Concluimos que a temperatura mais elevada de um objeto sempre transfere energia para o objeto de menor calor e estes sempre entrarão em equilíbrio térmico."

Vários aspectos podem ser levantados a partir desse pequeno texto. Em primeiro lugar, notamos, uma vez mais, as dificuldades da aluna em compor um encadeamento causal de eventos. A transpiração aparece, ao mesmo tempo, como causa da elevação da temperatura corporal e como reação do organismo a temperaturas elevadas, o que é contraditório, se a considerarmos como mecanismo regulador. As funções de nutrição parecem bem compreendidas, com a diferenciação entre processos de digestão, circulação sanguínea e respiração celular, mas o texto sugere uma transmutação de nutrientes em energia, o que reforça o caráter material atribuído a este conceito. Na seqüência do texto, os conceitos de calor e temperatura encontram-se ainda indiferenciados, embora Fabiana reafirme corretamente o sentido dos fluxos de energia entre objetos a diferentes temperaturas. Quanto ao equilíbrio térmico, ela supõe que seja sempre alcançado a partir das interações térmicas, o que não ocorre nos sistemas abertos de equilíbrio dinâmico dos quais o corpo humano é um exemplo. É importante notar que essa síntese foi realizada na semana seguinte ao tratamento, em sala de aula, da questão

dos fluxos energéticos com a vizinhança, com base numa analogia do corpo humano e um ferro de solda ligado à tomada.

Em relação às atividades anteriores, essa síntese apresenta um amadurecimento das idéias de Fabiana e um progresso significativo, com consolidação do subnível IIA.

Teste 2

Os mesmos progressos podem ser destacados no Teste 2, realizado ao final do curso. As dificuldades de entendimento de situações abertas de equilíbrio dinâmico podem ser apontadas nas respostas aos itens *a* e *b* da primeira questão:

1.a) “A temperatura do ferro se eleva, pois está recebendo a energia da tomada. Depois, a elevação cessa, pois a potência já foi atingida.”

1.b) “A elevação se estabilizou, pois o ferro só agüenta a energia conduzida para ele até um ponto; mas, para ele ficar estável, tem que continuar recebendo esse calor para não cair a temperatura do ferro.”

A aluna tenta resolver o problema valendo-se de características do próprio sistema e ignorando as interações térmicas dele com o ambiente. Há uma certa contradição entre a hipótese *ad hoc* de que o sistema “*só agüenta energia [...] até um ponto*” e a constatação de que “*tem que continuar recebendo esse calor para não cair a temperatura*”. Como em outras ocasiões, Fabiana apresenta inferências muito calcadas em observáveis, sem um exame mais atento das implicações lógicas. Entretanto, e surpreendentemente, no item seguinte da mesma questão, sua resposta passa a considerar uma maior reciprocidade nas relações e mecanismos de compensação:

1.c) “O corpo tem que estar sempre transferindo energia para o ambiente e repondo. A semelhança [entre o ferro de solda e o corpo humano] é que a energia utilizada tem que ser reposta. O ferro precisa da tomada e o corpo humano, dos alimentos. A diferença é que nós temos vários tipos de transferência e o ferro não.”

A resposta a este item configura-se como uma transição entre os subníveis IIB e IIIA, com coordenações que deduzem a invariância de temperatura do sistema, a partir de um raciocínio que sugere comparação entre o que lhe é acrescentado e subtraído, em termos de energia, porém sem quantificação. Por outro lado, os “tipos” de transferência de calor mencionados pela aluna podem ser interpretados como formas mais complexas de transferências de energia acionadas pelos organismos.

Fabiana oscila, porém, entre diferentes tratamentos do problema da regulação térmica, talvez em função do contexto e da forma como lhe é apresentado. Assim, na

questão 4, em que são discutidos aspectos de relações entre as temperaturas corporal, ambiente e da pele, a aluna volta à atribuir propriedades, sem evocar mecanismos de interação ou argumentos conservativos:

4.a) “Nós somos homeotermos. Então, a temperatura do nosso corpo é constante, independente do ambiente em que estamos e a temperatura [da pele] é menor do que a corporal, porque as nossas extremidades estão mais em contato com o ar do que o resto do corpo.”

Trata-se de uma assertiva baseada em pseudonecessidades, ou seja, na atribuição de um caráter necessário àquilo que é simplesmente constatado e nomeado. Em oposição, a explicação científica procede por necessidade lógica, deduzida de transformações no interior de um modelo. Entretanto, as respostas de Fabiana tornam-se mais adequadas quando, na seqüência, ela passa a considerar situações em que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal – item 4.b – ou é superior a ela – item 4.c.

4.b) “A temperatura corporal se iguala, chegando a 36°, 37°. A transferência de calor é menor e mais lenta. Quando estamos a essa temperatura, costumamos suar para transferir calor através da transpiração.”

4.c) “Isso é possível devido à transpiração. Com ela eliminamos a energia que não é transferida por outro processo.”

A estudante aponta para uma generalização da hipótese de transferência de calor do organismo para o ambiente, mesmo em situações extremas. Os mecanismos de produção de calor não são explicitados, mas parecem compor o conjunto do processo. Podemos notar, ainda, que a transferência de calor por transpiração evoca uma concepção substancialista do calor e da energia.

A segunda questão é, também, respondida de modo adequado, feitas algumas ressalvas. Observamos um caráter finalista na frase “*Os homeotermos têm que transferir energia para o ar à sua volta*”, por que insuficientemente coordenada a mecanismos de produção de energia que resultariam, neste caso, em morte do organismo por hipotermia. Por outro lado, Fabiana afirma que o isolamento térmico dos homeotermos é posto em ação “*quando sentimos frio*”, o que é um indício da consideração de mecanismos reguladores. Ela não esclarece, no entanto, como se modifica esse “isolamento” nas várias condições de temperatura ambiente.

Na terceira questão do teste, a aluna não utiliza conceitos de transferência de calor por convecção ou radiação, e sua resposta permanece no nível de uma boa descrição do fenômeno.

A grande surpresa desta avaliação de Fabiana, especialmente quando comparada ao Pós-teste, ficou reservada à resposta dada à última questão, em que solicitávamos relações entre os conceitos de calor e temperatura:

5.a) “Temperatura no científico é o resultado final ou a medida inicial de um processo em que acarreta o calor. O calor é a medida de energia, uma forma de energia. Temperatura no cotidiano é usado como uma medida (ex: sua temperatura está alta!) e calor é quando algo está quente ou contrário de frio (ex: aqui está um calor)”.

A interpretação de uma resposta memorizada a partir do texto da apostila ou da fala da professora colide com a forma original com que a aluna apresenta suas definições. Além disso, impressiona-nos o modo como apresenta exemplos e diferenças dessas conceituações com relação aos significados atribuídos em situações de vida cotidiana. Este é um indício bastante favorável de uma reflexão de segunda ordem, que infelizmente, apenas se constata, em toda a trajetória da aluna ao longo do curso, nesse pequeno trecho.

Quanto à referência ao frio como “*forma de energia*” – da questão, item b –, ela concorda, mas justifica corretamente: “*O frio é usado como uma comparação com o calor. Exemplo: um copo de água gelada vai ser mais quente que o freezer, isto é, os dois são frios, mas um tem sempre uma temperatura superior [ao outro].*”

Enfim, podemos dizer que, no conjunto, Fabiana apresenta, neste teste, uma abordagem de nível inter-objetual aos processos de manutenção de temperatura corporal, oscilando entre os subníveis IIA e IIB, com predomínio do segundo. Veremos, na seqüência, seu desempenho na Entrevista, para que então possamos interpretar esses dados em seu conjunto.

5.4.3. Análise dos dados da Entrevista

A Entrevista de Fabiana, realizada 40 dias depois de encerrados os trabalhos com a unidade, reforça os pontos de vista deixados pelo instrumento do Pós-teste e obriga-nos a relativizar os progressos observados no Teste 2, ao final do curso. Antes de prosseguir, é preciso dizer que a Entrevista foi conduzida com alguma dificuldade, com a aluna demonstrando certa impaciência, dando respostas evasivas a algumas situações

apresentadas. Vamos apresentar apenas uma das seqüências que, a nosso ver, contribui para compor uma avaliação dos modos de raciocínio que Fabiana utiliza ao interpretar os fenômenos térmicos.

O Frio é uma Forma de Energia

(O entrevistador apresenta um pedaço de gelo sobre a mesa e propõe a Fabiana que aproxime dele sua mão, sem tocá-lo. A situação, já havia sido utilizada na aula extra e, portanto, não apresentava novidade para ela.)

1. *Entr: O que está acontecendo?*
2. *Fab (falando pausadamente, escolhendo as palavras) : Minha mão está transferindo calor para o gelo.*
3. *Entr: Sua mão está transferindo calor para o gelo.*
4. *Fab: E isso está fazendo ele derreter...*
5. *Entr: Hã... hã.*
6. *Fab:...porque ele está absorvendo calor e tirando o frio dele.*
7. *Entr: Tirando o frio?*
8. *Fab (risos): Tirando a energia.*
9. *Entr: Hã... E ele está transferindo alguma coisa para a sua mão também?*
10. *Fab: A energia, ué. Porque o frio também é uma forma de energia.*
11. *Entr: O frio também é uma forma de energia?*
12. *Fab: Isso.*
13. *Entr: E como é essa energia do frio?*
14. *Fab: Ah, também é um calor, também é calor, você associa ela ao calor. Porque, por exemplo, no pólo sul tá fazendo, lá é mais frio que o gelo, quero dizer, eu acho que é mais frio do que o gelo, portanto esse aqui é mais quente que o gelo de lá.*
15. *Entr: Hã... hã. Sem dúvida. Quer dizer, então, que esse gelo daqui é capaz de transferir energia para o gelo de lá (risos), digamos assim? Agora, ele também transfere energia para a sua mão?*
16. *Fab: Acho que a minha mão transfere calor para ele...porque está mais quente, né?*
17. *Entr: Sei.*
18. *Fab: Eu acho que os objetos mais quentes vão transferir calor para o mais frio...*
19. *Entr: Hã... hã.*
20. *Fab:...e o outro vai perdendo energia.*
21. *Entr: Sei. E o outro vai perdendo energia. O gelo vai perdendo energia,...*
22. *Fab: Ou transferindo.*
23. *Entr:...À medida que a temperatura aumenta...o gelo vai perdendo energia?*
24. *Fab: Tá transferindo, para a minha mão, porque a minha mão também vai ficar gelada.*
25. *Entr: Hã... hã. Mas a sua mão, quando ela vai ficando mais gelada, ela vai ficando com mais energia?*
26. *Fab: Não... Há uma troca, né? Há uma troca de calor aqui.*
27. *Entr: Uma troca... Mas vamos pensar, o que está acontecendo com o gelo?*
28. *Fab: O gelo está derretendo.*
29. *Entr: O gelo está derretendo. A temperatura dele está... Antes de derreter...se eu pegar a temperatura, ela está mais baixa?*
30. *Fab: Está mais fria em relação à que tiver depois de derretido.*
31. *Entr: Tá. Então a temperatura deve estar aumentando?*
32. *Fab: Hã... hã.*
33. *Entr: E isso está ganhando ou perdendo energia quando se aproxima?*
34. *Fab (com voz baixa, quase sussurrando): Ganhando.*
35. *Entr: Ganhando energia. E a sua mão, à medida que se aproxima do gelo,...*
36. *Fab: Tá perdendo.*
37. *Entr:... a temperatura da sua pele...tá...*
38. *Fab: Tá perdendo.*

39. *Entr: ...ela tá perdendo energia, não está? Ela está perdendo energia.*
40. *Fab: Hã... hã.*
41. *Entr: Né? O gelo também perde energia nessa brincadeira?*
42. *Fab: Não, está ganhando.*
43. *Entr: Está ganhando. E transfere alguma coisa para a sua mão?*
44. *Fab: Não. A minha mão está perdendo...energia, já que está transferindo para o gelo.*

Fabiana começa a falar medindo as palavras, para evitar erros como aquele cometido em seu relatório das atividades realizadas na aula extra. Entretanto, logo que se vê à vontade com a situação, abandona o discurso científico e retorna ao seu modo peculiar de compreender os fenômenos térmicos. É curioso que a mudança de perspectiva é gradual – a aluna procura afirmar, como já havia feito no segundo teste, que o frio é uma forma de calor (turno 10), na medida em que não há frio absoluto (turno 14). Nos turnos 16 e 18, ela reafirma corretamente, como já havia feito em outras avaliações, os enunciados que permitem definir o sentido de transferências de energia entre corpos a diferentes temperaturas. Entretanto, a partir do turno 20, assume um discurso contrário ao anterior, afirmando que o gelo também perde, transfere ou “troca” algo, o que explica o resfriamento da mão. O entrevistador, sobretudo a partir do turno 27, oferece suporte para que a aluna tome consciência das contradições entre seus enunciados, o que custa ocorrer – a mudança de entonação no turno 34 é sintomática de uma abstração reflexionante em curso. Podemos inferir dessa seqüência o esforço que Fabiana tem feito para sustentar uma voz que não é sua, um discurso e uma argumentação dos quais não se convenceu.

5.4.4. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem

Como podemos compor uma avaliação global dos indicadores de aprendizagem de Fabiana ao longo do curso? Notemos, em primeiro lugar, que temos impressões distintas ao analisar separadamente cada um dos instrumentos de avaliação, sendo que o teste final dá uma impressão mais favorável do que os demais indicadores. Entretanto, observando o conjunto, podemos avançar na interpretação das formas de raciocínio de Fabiana, bem como de suas condutas frente à aprendizagem de conteúdos escolares em ciências naturais.

A análise dos dados nos permitem afirmar que a aluna procura acrescentar esquemas ao seu repertório de conhecimentos, desde que mantidos os elementos anteriores. Assim, ao elaborar uma explicação, busca conectar elementos em cadeias

causa/efeito, sem examinar se a explicação, no total, se apresenta logicamente consistente. Na ausência de tomadas de consciência que conduzam a um afastamento de seu próprio ponto de vista, considera apenas o que afirma e não, aquilo que conduz à negação de suas proposições. Sem acordo entre afirmações e negações, por insuficiência destas, ela não se dá conta das contradições que perpassam, com frequência, seu discurso (PIAGET, 1978). Falta-lhe a atitude epistêmica de examinar internamente a consistência das proposições. O fato de não fazê-lo reforça sua tendência de acrescentar novas explicações por justaposição, sem que se tenha assegurado a harmonia do conjunto. Por outro lado, seu texto escrito é relativamente coeso, de modo que a aluna se vale dessa competência para dar forma ao discurso, embora não o faça acompanhar pelas necessárias revisões de seu conteúdo.

Podemos, ainda, inferir que o grande obstáculo de Fabiana consiste na superação da causalidade linear simples e na composição de explicações causais com múltiplos fatores interdependentes e simultâneos, com sistemas de regulação complexa. Ao que parece, orientada pelo princípio de que cada efeito deve ser atribuído a um único agente (ANDERSSON, 1986), a estudante acaba sustentando, recorrentemente, a existência ontológica do frio e do calor.

O sensualismo poderia explicar suas dificuldades em superar e criticar a perspectiva dualista do calor frio e quente. Contudo, convém destacar que ela apresenta uma compreensão suficiente das diferentes sensações de objetos em equilíbrio térmico, conforme a intensidade das transferências de calor com o corpo humano. O sensualismo, portanto, recua em aspectos significativos relacionados ao comportamento dos diferentes materiais no ambiente.

Se essa interpretação for correta, entendemos, hoje, que poderíamos ter exercitado, com a aluna, a construção de explicações causais de maior complexidade em conteúdos que fossem familiares para ela. Em princípio, estamos de acordo com MILLAR (1997), para quem as dificuldades dos estudantes em compor explicações causais mais elaboradas para os fenômenos físicos não deve ser admitida como incapacidade estrutural, ligada ao seu desenvolvimento cognitivo. O autor considera, em lugar disso, que todos nós, ao lidarmos com conteúdos com os quais temos pouca familiaridade, tendemos a utilizar formas de raciocínio mais elementares como, por exemplo, o encadeamento linear de vínculos causa/efeito. Portanto, caso essa hipótese seja verdadeira, poderíamos sugerir a elaboração de atividades de ensino destinadas a

promover a familiarização da estudante com explicações causais que abrangem fatores múltiplos interdependentes e simultâneos. Para PERKINS & GROTZER (2000), o ensino de ciências deveria focar, explicitamente, a aprendizagem de modelos causais complexos, assim como de atitudes epistêmicas relacionadas à construção e validação de modelos e à consideração de evidências e contra-evidências a eles relacionadas.

Por outro lado, o fato de termos insistido na proposição de explicações de fenômenos em pequenos grupos e, posteriormente, junto à turma examinando-as racionalmente, pode ter favorecido os progressos de Fabiana nesse domínio, ainda que considerados, em seu conjunto, localizados e insuficientes. Chama-nos a atenção, por exemplo, o fato de ela ter modificado, ao longo do curso, os observáveis que considera em suas explicações. Esse fato não deve ser menosprezado, na medida em que, segundo PACCA & SARAIVA (1989), parte das limitações dos modelos causais construídos pelo pensamento espontâneo se devem à seleção, pelo sujeito, dos elementos considerados por ele essenciais na composição de seu sistema. Assim, quando Fabiana não considera alguns observáveis diretamente relacionados à percepção imediata e inclui outros, que são produtos de inferências anteriores, espera-se um progresso correspondente nos mecanismos subjacentes às explicações dadas. Como vimos, isso nem sempre acontece, pois a aluna não examina as proposições em seu conjunto, além de ser traída pela necessidade de manter um agente para cada efeito considerado.

Em sua avaliação pessoal, ao final do curso, Fabiana considera que *“No começo, eu não entendia direito, mas depois comecei a prestar mais atenção na aula e ver que eu precisaria desse assunto para descobrir e desvendar assuntos do dia-a-dia”*. Nessa ocasião, reclamou novamente da linguagem da apostila e das *“explicações complexas”*, que poucas pessoas entendiam, mas considerou que, na segunda etapa do curso, ela teria se interessado mais e passado a entender a matéria em estudo. De fato, ela parece ter obtido alguns progressos, sem que isso tenha resultado em uma revisão e reflexão crítica acerca de suas próprias formulações e das de seus colegas. Sua maior queixa com relação ao ensino de ciências refere-se ao seu caráter interpretativo – *“... é muito complicado, pode ser, pode não ser, tipo assim, confunde muito”* – ao contrário de outras disciplinas *“mais objetivas”*, com as quais se identifica.

O que mais nos preocupa é o fato de que os estudantes não percebam por que não compreenderam, ou seja, não tenham consciência das dificuldades e se protejam na aparência de algumas ressonâncias com o pensamento científico, o que os impede de

progredir (CAFAGNE, 1996). Nesse sentido, boa parte do trabalho do professor em sala de aula consiste em pôr em evidência as contradições e lacunas. Pode-se considerar que a “*cultura do portfólio*” (DUCHL & GITOMER, 1991) é uma estratégia adequada para aumentar essa reflexão sobre o conhecimento próprio, característica do pensamento científico. Acreditamos que, nos momentos do curso em que sugerimos revisão das formulações anteriores, tivemos uma resposta favorável por parte dos estudantes, inclusive da Fabiana. Entretanto, mais uma vez, o ofício do educador é contingente. Pela própria natureza dos processos, podemos aumentar as possibilidades de progressos nos modos de raciocínio dos alunos, mas não podemos nunca prever seus resultados. Isso envolve sempre mecanismos endógenos de que não temos controle e que podemos apenas buscar incrementar mediante interações renovadas.

Para finalizar, as diferentes impressões causadas pelos vários instrumentos de avaliação corroboram o ponto de vista de que devemos, na medida do possível, propiciar diferentes oportunidades e modalidades de avaliação da aprendizagem. Convém ressaltar, entretanto, que isso depende, fundamentalmente, das condições de trabalho do professor, do número de alunos em turma, do número de aulas e cursos que ministra, das condições materiais e do suporte que recebe para qualificar seus instrumentos de avaliação. As alterações nas práticas de avaliação da aprendizagem fazem parte, portanto, de um processo e de um movimento de profissionalização docente, que comporta contradições e conflitos, avanços e recuos.

5.5. Examinando Trajetórias: Leonardo (3º Caso)

Leonardo faz parte do grupo de alunos que, tendo manifestado, no início do curso, composições predominantemente inter-objetais, apresentou progressos em direção ao nível III. Interessa, portanto, saber as repercussões dessa condição de partida no desempenho e no interesse do aluno ao longo do curso.

Na escola, Leonardo tem reputação de bom aluno e para preservá-la, procurou sempre garantir uma boa avaliação de seu desempenho. Seu grupo de trabalho – constituído por Lud, Cri, Kri e Dan – era bastante ativo na dinâmica dos trabalhos em sala de aula. Apresentavam, em conjunto, uma preocupação de responder conforme o que era solicitado e procuravam, com frequência, manifestar suas opiniões junto ao restante da turma. Com Cri, Leonardo assumia, no grupo, um atitude de liderança,

chamando, freqüentemente, a atenção dos colegas e, muitas vezes, ditando respostas para o relato do grupo.

Leonardo fez parte do grupo que escolhemos, de início, para coleta de dados em vídeo. Por isso, temos dele um número maior de dados, que permitem traçar sua trajetória com mais detalhes. A decisão de considerar os dados extraídos desses episódios de ensino, em que os turnos de fala de Leonardo estão inseridos num contexto de produção fortemente intersubjetivo, leva a algumas considerações metodológicas. Em primeiro lugar, toda a produção intelectual dos alunos, inclusive a individual escrita, na forma de testes, é contextualizada e o contexto de sua produção envolve uma relação com “outros”. Assim, temos tido o cuidado de examinar esses repertórios não como *dados brutos* mas como *indícios* de uma trajetória, cuja validade vai sendo examinada em função de outros indícios no escopo de um quadro teórico. Certamente, a complexidade dessas relações intersubjetivas aumenta na medida em que envolvem um papel ainda mais destacado do outro nas pautas de conversação em sala de aula. Portanto, ao examinar algumas falas de Leonardo nas discussões em seu grupo ou com o conjunto da turma, vamos destacar as circunstâncias em que foram produzidas e examinar as repercussões que possam ter tido no pensamento do aluno, a partir da triangulação dos dados de que dispomos. Decidimos, porém, não transcrever literalmente todas as pautas de conversação que serão mencionadas, pois isso nos conduziria à análise do discurso, o que está fora dos propósitos e do enquadramento teórico deste trabalho. De qualquer modo, as produções orais ou escritas do aluno, ao longo do curso, revelam-nos o modo muito singular como ele, assim como cada um de seus colegas, participa das atividades e elabora conhecimentos no bojo das interações em sala de aula.

5.5.1. Análise do Pré-teste

Apresentamos as respostas de Leonardo ao Pré-teste, juntamente com comentários feitos por ele nas discussões que se seguiram em seu grupo, depois de terem respondido individualmente às questões. Embora essa dinâmica de levantamento e discussão de concepções dos estudantes fosse, com alguma freqüência, utilizada pela professora nos dois anos em que trabalhou com a turma, Leonardo mostrou-se, em algumas ocasiões, irritado por ter que responder a coisas que não lhe haviam sido, ainda, ensinadas.

Nas primeiras questões do teste, ao explicar a manutenção de temperatura corporal, Leonardo supõe haver uma substância controladora, liberada pelo suor:

“O nosso corpo precisa se manter em uma determinada temperatura, para se comportar normalmente. Assim, isto se dá pelo fato do nosso organismo ter substâncias controladoras da temperatura.” (Pré-teste, questão 1)

“O suor é o corpo liberando substâncias para controlar. O ventilador irá resfriar o corpo, ajudando no controle da temperatura exterior.” (Pré-teste, questão 2)

Devemos notar, em primeiro lugar, a conduta do estudante ao estabelecer uma explicação valendo-se de mecanismos não diretamente observáveis, de modo que forneça razões aos efeitos constatados. Ao estabelecer a necessidade de existência de algum mecanismo regulador, ele o atribui a substâncias presentes no suor, buscando, dessa forma, conectar sua “teoria” a evidências empíricas (sudorese). Entretanto o resultado é potencialmente contraditório: Como poderia a substância controlar a temperatura do organismo, já que liberada por ele pelo suor? Quanto à ventilação, na resposta à segunda questão, ele apenas constata a sensação de frescor e resfriamento da temperatura da pele.

Na discussão com suas colegas de grupo, Leonardo explicita o uso da expressão “temperatura exterior” como se referindo à temperatura da pele. Questionado por Cri, sustenta que o corpo possui duas temperaturas: uma exterior, que varia conforme o ambiente, e outra interna, que se mantém constante⁷. Em outro momento, esclarece que “a substância controladora do suor age em função da temperatura externa”, evidenciando sua condição de mecanismo regulador.

O grupo permanece um longo tempo (15 min) procurando encontrar razões para a sensação de frescor, discordando de Kri, para quem a sensação corresponde ao que ocorre com a temperatura do ar quando movimentado. Partem de uma noção bastante genérica de “*manutenção de equilíbrio entre nossa temperatura e a do ambiente*”, que não os satisfaz enquanto explicação e, por várias vezes, como já anunciamos, Leonardo mostra-se irritado por ter de responder ao que ainda não lhe foi ensinado. Finalmente, ele encontra uma solução para o problema, a partir da analogia com o resfriamento do

⁷ Apesar disso, na aula seguinte, Leonardo mostra-se admirado com a medida da temperatura da superfície de suas mãos e braços: “*Nossa, estou morrendo: 26 °C!*”. Talvez ele não esperasse encontrar uma diferença tão significativa, traído pela noção mais primitiva de que “cada corpo possui sua temperatura”.

café ao ser soprado (questão 6 do Pré-teste): “o ventilador é a mesma coisa do café. Porque quando a gente sopra,... (>) Ele esfria mais rápido.>) Porque o vento vai fazer, no nosso corpo, acelerar essa reação de troca de calor.>) O ventilador movimenta o ar, acelerando o processo de transferência de calor”⁸. Para evidenciar a força dessa analogia, devemos lembrar que o café quente, ao contrário do corpo humano, é um protótipo de “fonte de calor”. Assim, “transferência” ou “troca de calor” passam a ser consideradas como mecanismo explicativo para ambas as situações. Quanto à transpiração, esta é considerada por Leonardo como uma “*reação do corpo ao calor*”, muito embora ele e suas colegas não consigam explicá-lo de forma satisfatória. Podemos concluir que Leonardo e seu grupo, à exceção de Kri, trabalham com uma lógica inter-objetal, destacando relações e transformações, superando, assim, a perspectiva sensualista, centrada apenas nos atributos e propriedades dos objetos.

Nas questões seguintes do Pré-teste, Leonardo estabelece outra relação, desta vez, entre atividade física e elevação de temperatura corporal:

“O nosso organismo na atividade física está trabalhando e se aquecendo através de nossos exercícios. Exercício físico é uma maneira de elevar a temperatura do corpo.” (Pré-teste, questão 3)

“Quando esfregamos a mão, nossa temperatura interna está todo tempo na mesma temperatura. Assim tentamos aquecer passando a nossa temperatura interior para a exterior. Já que o agasalho apenas conserva o calor que vem do interior. Os tremores é o corpo fazendo atividade física para aquecer aquela região.” (Pré-teste, questão 4)

“A temperatura se eleva porque o organismo será exigido e terá de trabalhar mais. Assim como no exterior, no interior do corpo, o exercício aumenta a temperatura.” (Pré-teste, questão 8)

Inicialmente – questão 3 – a relação estabelece apenas a constatação de ocorrência simultânea entre os dois eventos mas logo considera a atividade física como um mecanismo regulador, “*uma maneira de elevar a temperatura do corpo*”, o que se estende ao tremor involuntário – questão 4. Do mesmo modo, ao discutir mecanismos acionados pelo organismo febril – questão 8 –, Leonardo evoca as mesmas relações já estabelecidas anteriormente, o que revela uma preocupação do aluno na construção de esquemas de maior generalidade. Devemos sinalizar, ainda, que o aquecimento das mãos por atrito é atribuído a uma distribuição do calor pelo corpo, “*passando a nossa*

⁸ Os trechos de fala de Leonardo foram extraídos de uma produção discursiva coletiva. O símbolo (>) indica a alternância com turnos de fala de outros membros do grupo que, fundamentalmente, procuravam dar um sentido à analogia proposta e, assim, esclarecer os mecanismos responsáveis pela sensação de frescor causada pela ventilação.

temperatura interior para o exterior". Do mesmo modo, a conservação do "*calor que vem do interior*" por meio de agasalhos evoca um caráter material para o calor.

Na discussão com seus colegas, que se segue, Leonardo aprofunda a relação entre trabalho físico e aquecimento do corpo por meio de outra analogia, apresentada sem muita convicção: "*Eu acho que pode ser assim, tipo quando no carro - assim, sabe? Sei lá! Quando há tipo a combustão, assim que explode, assim... Aí gera calor. Eu acho que pode ser tipo isso*". Nesta ocasião, Cri retoma a sua explicação ligada à "*atividade celular, que é a queima de oxigênio*" e Leonardo conclui afirmando, de modo mais genérico, a "*produção contínua e acelerada de energia*". Quanto aos tremores involuntários em dias de frio, o aluno discorda das colegas, considerando-os como atividade reguladora: "*O organismo percebe que está resfriando e tenta aquecer a partir de exercícios*". Ao contrário dele, Lud e Kris falam em "*choque térmico*" e Cris, em "*desequilíbrio de temperaturas*". Leonardo não consegue convencer as colegas, mas mantém sua posição original.

Finalmente, as questões relativas aos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico também revelam composições de caráter inter-objetais. Nota-se uma forte indiferenciação entre calor e temperatura, porém Leonardo sustenta a hipótese de equilíbrio final de temperaturas:

"Neste caso, haverá uma transferência de calor, ou seja, o gelo e a limonada transferem as temperaturas até estas serem equivalentes." (Pré-teste, questão 5)

"O café sobre a mesa está em uma temperatura mais quente que a do ar ambiente. Com o tempo, há a transferência de calor e o café começa a ficar na temperatura ambiente. Quando assopramos o café, a transferência de calor será acelerada, mais rapidamente." (Pré-teste, questão 6)

"As temperaturas serão equivalentes, já que sofreram troca de calor com a mesma temperatura. Foram expostos à mesma temperatura." (Pré-teste, questão 7)

A proposição de transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas não se encontra, ainda, generalizada, conforme vemos na formulação da resposta à questão 5. Por outro lado, as interações térmicas são evocadas como mecanismos explicativos, mesmo que com certa imprecisão conceitual. De maneira geral, podemos, portanto, caracterizar a produção de Leonardo, no Pré-teste, como predominantemente inter-objetais, de subnível IIA. Na discussão que trava com suas colegas de grupo, ainda sem a intervenção da professora, predominam as mesmas coordenações esquema-

esquema, porém com maior generalidade e estabilidade nas compensações, com transição de IIA para IIB.

5.5.2. Análise do Pós-teste

Ao final do Pós-teste, Leonardo faz um comentário comparativo, afirmando que “*As minhas questões estavam na maioria certas, mas eu não sabia explicar o porquê dos acontecimentos, não sabia justificar cientificamente a razão de meus pensamentos*”. De fato, no Pré-teste, Leonardo não apresenta modelos explicativos mais abrangentes, mas formula observáveis e relações razoáveis de um ponto de vista científico. No Pós-teste, observamos, para além disso, outros progressos: 1. consideração de mecanismos de produção de calor pelo organismo; 2. generalização dos esquemas que envolvem coordenações entre calor, temperatura e equilíbrio térmico; 3. generalização do sentido de transferência de energia entre corpos a diferentes temperaturas; 4. consideração dos processos de transferência de calor por evapotranspiração. Apresentamos, na seqüência, as respostas dadas por Leonardo ao Pós-teste para que o leitor possa, então, compará-las:

1-O nosso corpo mantém a nossa temperatura constante através da produção da energia que ocorre principalmente na respiração celular.

2-O ventilador fará o ar circular. Assim, a evaporação do líquido do suor será acelerada e dará uma sensação de conforto e refrescância.

3-Quando fazemos exercícios físicos, o nosso organismo produz mais energia do que de costume; assim, sentimos mais calor e transpiramos para eliminar esse calor produzido a mais.

4-Quando fazemos exercícios involuntários, produzimos energia e nos aquecemos. Os agasalhos retêm o ar entre o nosso corpo e ele; assim, aquecemos o ar e temos a sensação de aquecimento.

5-Haverá transferência de calor da limonada para o gelo até chegarem em equilíbrio térmico.

6-Nesse caso, o café transferirá calor para o sistema à sua volta. Se soprarmos, aceleraremos a evaporação do café até ele começar a esfriar.

7-As temperaturas são iguais, já que nenhum dos objetos tem calor próprio e foram expostos à mesma temperatura.

8-Na febre, o nosso hipotálamo funciona, fazendo com que o corpo produza mais calor e eleve sua temperatura.

5.5.3. Análise das Avaliações

Teste 1

Na primeira avaliação, ao final do primeiro mês do curso, Leonardo demonstra ter atingido as metas de aprendizagem até então colocadas. Ele apresenta corretamente os princípios físicos e considera, de modo adequado, as sensações térmicas como resultado de interações entre o organismo e o ambiente e materiais à sua volta. Assim, por exemplo, considera que, em dias de frio, *“Nosso corpo não receberá frio, ele transferirá calor para o ambiente, perdendo muito mais calor do que o normal”*(questão 1.2). Nega a existência do frio como categoria ontológica oposta ao calor, considerando os dois como termos relativos em uma escala contínua: *“Calor e frio são termos utilizados para fazer uma comparação, os termos são relativos, depende a que estão sendo comparados”*(questão 1.3). Além disso, ao estabelecer as transferências de energia do corpo humano para o ambiente, conclui afirmando que, *“por isso, o nosso corpo nunca pode parar de produzir energia que aqueça o organismo”*(questão 1.1). As diferentes sensações térmicas de objetos em equilíbrio térmico são, também, explicadas a partir dos fluxos de energia entre organismo e ambiente: *“A ardósia é um bom condutor de calor; assim, o nosso corpo transfere calor, rapidamente, enquanto na madeira o processo é mais lento e o nosso corpo não sente muito a diferença”*(questão 2).

A única ressalva, nessa primeira avaliação, consiste na inversão das relações que caracterizam o fato de o ar aquecido pelo corpo tornar-se, em seguida, fonte de calor para este: *“Os agasalhos não fornecem calor, eles apenas retêm ar entre o corpo e ele. O nosso corpo aquecerá este ar interno e, com o tempo, este ar transferirá calor para o corpo”*(questão 1.4). Essa inversão parece ser resultado do encadeamento linear causal de acontecimentos, em que um efeito é considerado, na seqüência, a causa de um efeito seguinte sem conexão com o primeiro. Tudo se passa como se o ar retido entre o corpo e o agasalho fosse capaz de “acumular” o calor do corpo, devolvendo-o em seguida. Ao revermos a avaliação, Leonardo corrige, de modo satisfatório, a resposta dada. Podemos, ainda, comparar esta produção com a resposta à quarta questão do Pós-teste e

afirmar que o aluno, ao final do curso, sustenta uma explicação correta e adequada ao problema.⁹

Podemos, assim, concluir que, ao final da primeira parte do curso, Leonardo consolida o subnível IIB.

Dados extraídos de alguns episódios em sala de aula

Convém, no entanto, destacar que a generalidade dos esquemas de calor, temperatura e equilíbrio térmico foram laboriosamente construídos ao longo das atividades propostas pelo curso.

Assim, no início da quarta aula, quando discutia com as colegas a atividade I.2 – em que o gelo e a batata quente eram enrolados em flanela e comparados com outros objetos idênticos expostos ao ambiente –, Leonardo faz uma série de perguntas a Cri, em que se destacam suas dificuldades em compreender e generalizar o sentido das transferências de calor. Embora ele tenha sinalizado esse tipo de dificuldade na resposta à questão 5 do Pré-teste, sua dúvida parece emergir da discussão com a turma, ao final da aula precedente¹⁰: *“Olha só Cri. Transferência de calor é quando um passa calor por outro; existe troca de calor quando os dois trocam calor. (>) Transferência de calor é quando um passa calor para o outro. (>) Troca de calor existe? (>) Transferência de calor, ele passa calor, mas sem perder calor.”* A colega discorda dessa transferência sem conservação, e ele parece reconhecer o erro: *“Ele tá passando; então, perde”*. Na seqüência da atividade, Leonardo sustenta, no grupo, a conclusão de que *“a flanela impediu a transferência de calor do gelo para o ambiente”*. Entretanto, a partir das aulas seguintes, ele demonstra ter consolidado o sentido das transferências de calor, tendo abandonado, desde então, o uso da expressão “troca de calor” ou referências, mesmo que implícitas, a um “calor frio” emitido por corpos a baixa temperatura. Parece-nos que a discussão, com toda a turma, dessa atividade e da seguinte, com intervenções da professora, deve tê-lo auxiliado nessa direção.

⁹ Além disso, na 10ª aula, Leonardo percebe a contradição na fala de um colega e pergunta à professora: *“Quando você tem o ar quente que está entre a blusa, como é que ele vai conseguir ficar mais quente que o nosso corpo?”*.

¹⁰ Indicamos com o sinal (>) a alternância de turnos de fala de outros colegas que, no princípio, continuaram fazendo as medidas propostas pela atividade sem lhe dar muita atenção. Apenas ao final do último turno de fala, Cri lhe dirige a palavra, discordando dele, e Leonardo conclui, mudando de assunto em seguida.

Por outro lado, ainda que admitisse, desde o início, o equilíbrio térmico de corpos colocados em um mesmo local a uma dada temperatura, Leonardo não era ainda capaz de estabelecer uma explicação para as diferentes sensações ao tato. Assim como suas colegas, ele demorou a compreender os fluxos de calor entre a mão e os objetos como fator responsável pelas sensações térmicas, tendo solicitado, para isso, ajuda e suporte da professora.

Outra dificuldade do aluno, esta possivelmente não superada ainda ao final do curso, diz respeito às propriedades térmicas dos materiais. Na sétima aula do curso, ele interpreta o aquecimento diferenciado dos materiais com base em diferenças na condução de calor: *“Se o óleo conduzir melhor esse calor, ele vai chegar mais próximo dessa temperatura [da fonte de calor] e essa outra substância [água] não.”* Em outra ocasião – na nona aula – considera que o ferro de solda atinge temperaturas mais elevadas no ar do que na água, pois *“A água é um mau condutor de calor. Aí, quando vai para a água tem que transferir mais calor”*. Nos dois casos, podemos notar que o aluno utiliza noções de condutividade térmica em circunstâncias em que um físico se valeria dos conceitos de capacidade térmica e calor específico.

Apesar desses problemas, notamos contribuições importantes e significativas por parte de Leonardo, tanto no trabalho em grupo quanto nas discussões com toda a turma. Ao final do curso – 13ª aula –, por exemplo, os alunos deveriam examinar os dados de Robert Mayer (1842), relativos à composição do sangue venoso nos trópicos quando comparado ao da mesma população na Inglaterra. Fabiana supõe, incorretamente, que *“Nos trópicos, a pessoa transpira mais, aí vai precisar de mais oxigênio”*. A professora pergunta aos estudantes se concordam com a colega, e então Leonardo apresenta um outro argumento, baseado na conservação da energia: *“Não, eu acho que é porque você vai estar transferindo mais energia para o ambiente. Então, o oxigênio vai estar, assim; mais transformado, aí, vai ter menos oxigênio.”*

Atividades Extraclasse

Das atividades realizadas em casa por Leonardo, convém destacar a síntese que ele elaborou sobre a questão “De onde vem a energia que nos mantém aquecidos?”:

“Podemos observar que a nossa temperatura é controlada pelo nosso organismo, que a mantém estável, principalmente pela respiração celular.

O que acontece é a digestão dos alimentos. Então, os nutrientes vão para as células. Lá, junto com O₂ e glicose, os nutrientes são transformados em CO₂, água e energia (calor). Assim, involuntariamente, conservamos nossa temperatura em um certo

padrão. O padrão deve ser 'seguido' corretamente, caso contrário, podemos sentir as alterações que podem até nos matar.

Todos os mamíferos controlam suas temperaturas através da respiração celular e, por isso, sentem "frio" ou "calor". Alguns animais são conhecidos de "sangue frio", pois não têm temperatura própria, então estão sempre na temperatura ambiente, não transferindo calor para o meio onde vivem. Para eles, a alteração de temperatura não significa nada."

Nesse texto, o aluno reafirma os processos de regulação térmica, destacando para isso os processos ligados à produção de calor por meio da respiração celular, sem mencionar as transferências de calor para o ambiente como parte dos mecanismos de regulação. De modo bastante original, Leonardo conclui que as sensações de frio ou calor são possíveis apenas na medida em que a temperatura do corpo humano difere da temperatura ambiente, o que acarreta fluxos de calor organismo/ambiente. Essa dedução, que não foi apresentada ou sugerida pela professora ou pelo texto, da apostila, revela que ele se encontra de posse de um conjunto estruturado de esquemas, que lhe permite ir além da informação disponível.

Entretanto, ele comete um pequeno deslize ao referir-se aos heterotermos, pois, centrado nos estados de equilíbrio, não considera as transferências de calor quando a temperatura ambiente varia. Além disso, ao contrário do que ele supõe, a alteração de temperatura é um fator crucial na sobrevivência e comportamento dos animais heterotermos. Podemos dizer que o texto do aluno revela formulações trans-objetais e sistêmicas no que se refere aos mecanismos de produção de calor, mas não as coordena com os processos de transferência de calor para o ambiente nem evoca princípios de conservação que conduzem à manutenção e regulação da temperatura corporal. Devemos lembrar que os mecanismos de transferência de calor foram investigados com mais detalhes apenas na terceira parte do curso, após a realização desta atividade de síntese.

Teste 2

O teste final do curso fornece indicadores da consolidação de explicações trans-objetais com a composição de coordenações esquema-estrutura, que as caracterizam. Assim, por exemplo, coordena mecanismos de produção e transferência de energia na analogia com o ferro de solda:

"No início, o ferro de solda se aquece rapidamente, mas, com o passar do tempo, o aparelho passa a manter sua temperatura, já que sua perda e produção de calor se equivalem." (Questão 1.a)

“O ferro estava absorvendo muito calor e transferindo pouco, mas, depois, passa a ter taxas iguais de transferência e absorção.” (Questão 1.b)

“O ferro e o corpo têm/são fontes de calor e estão transferindo calor para o ambiente. Ambos geram calor, porém o ferro pode ser desligado, enquanto o homem, além de não termos controle da alteração da nossa temperatura interna, morre se houver grande variação de temperatura.”(Questão 1.c)

Como em outras oportunidades ao longo do curso, Leonardo mostra-se, também neste teste final, atento aos mecanismos reguladores. Assim, ao explicar as diferenças entre animais homeotermos e heterotermos, ele destaca aspectos centrais, não diretamente observáveis, que integram uma visão de conjunto das interações térmicas envolvidas:

“‘De dentro para fora’: estes animais produzem calor para se aquecerem e acabam por aquecer o meio externo .’De fora para dentro’: o meio externo aquece estes animais. Eles são capazes de limitarem a transferência de calor, mas sempre terão suas temperaturas fortemente influenciadas pelo sistema que os cerca.” (Questão 2.a)

“1. A temperatura dos homeotermos são controladas interiormente e não podem alterar muito; os heterotermos podem variar muito e não as controlam internamente; 2. os homeotermos estão sempre a produzir calor e transferi-lo para o ambiente, enquanto os heterotermos mantêm suas temperaturas com a absorção maior ou menor de calor; 3. os homeotermos têm formas de regular a transferência de calor para o meio, o que quase nunca ocorre com os heterotermos.” (Questão 2.b)

Entretanto, em outra questão, Leonardo apresenta um argumento centrado ora nos aspectos de transferência de calor, ora na produção de calor pelo metabolismo, sem coordenação, o que acaba originando uma contradição no caso extremo de temperatura ambiente superior à temperatura da pele (item c):

“Porque nas extremidades a transferência de calor para o ambiente é maior.” (Questão 4.a)

“Os vasos sanguíneos dilatam, começarei a suar e sentirei calor. Isto acontecerá porque meu corpo está tentando transferir calor para o ambiente. A temperatura de todas as partes do corpo se aproximarão da minha temperatura interna.” (Questão 4.b)

“O nosso corpo passa a produzir mais calor.” (Questão 4.c)

Ora, o argumento de que o corpo produz mais calor em situações de inversão dos gradientes das temperaturas organismo/ambiente é claramente não-conservativo, ao contrário de todas as suas outras composições. Podemos tentar interpretar o sentido de sua resposta, considerando que a sensação de calor intenso parece ser, neste caso, explicada pelo aluno como resultante do aumento da produção de calor e não, da redução da taxa de transferência. Contudo isso levaria, certamente, o corpo à hipertermia, o que Leonardo não deduz, embora tenha à disposição todos os esquemas

necessários para tanto. Vemos, assim, que, diante de uma situação limite e fortemente perturbadora, o aluno utiliza-se de esquemas mais primitivos, mais ligados à percepção.

Do mesmo modo, o problema das condutas dos filhotes de pingüins parece não ser compreendido pelo aluno que apresenta, como resposta, apenas uma descrição do habitat desses animais, sem estabelecer qualquer relação com os processos de interação térmica ou à obtenção e transferência de energia pelos organismos:

“Estes tipos de pingüins precisam manter suas temperaturas em temperaturas não muito variadas; por isso, ficam em regiões frias, onde suas temperaturas não variarão muito, facilitando a sobrevivência.” (Questão 3)

Finalmente, na resposta do aluno ao problema apresentado na última questão do teste, os conceitos de calor e temperatura parecem estar razoavelmente diferenciados e coordenados entre si, embora com algumas ressalvas:

“Temperatura e calor são muitas vezes confundidos. Calor é a capacidade do corpo de transferir esta energia e temperatura é a energia que está no corpo mesmo sendo influenciada por todo o sistema que envolve este mesmo corpo. Calor muitas vezes é confundido com um fluido e temperatura como sendo a medida da quantidade de calor.” (Questão 5.a)

“Calor e frio são relativamente a mesma coisa, em alguns casos são utilizados para fazer uma comparação. O calor é o resultado de uma reação química que gera energia, a qual chamamos de calor.” (Questão 5.b)

A definição de calor como capacidade do corpo em transferir energia é correta e apenas poderíamos acrescentar “em função de diferenças de temperatura”, o que parece desnecessário para Leonardo, porque não havíamos tratado, ao longo da unidade, de transferências de energia por realização de trabalho. Do mesmo modo, é restritivo considerar a produção de calor por meio de reações químicas, embora seja este o aspecto mais significativo no contexto de estudo da unidade. Quanto ao conceito de temperatura, o problema consiste em seu caráter extensivo, como quantidade total de energia (interna) que o corpo possui.

De modo geral, predominam, ao final do curso coordenações sistêmicas, trans-objetais, ainda que não generalizadas a todos os contextos e problemas apresentados. Podemos, portanto, considerá-la em seu conjunto como manifestação do subnível IIIA.

5.5.4. Análise dos dados da Entrevista

A Entrevista de Leonardo foi realizada 60 dias após o final da unidade. Podemos notar que as construções estão bem consolidadas, no que se refere tanto aos observáveis quanto às relações e aos modelos físicos utilizados.

O aluno resolve as primeiras situações com segurança e correção, demonstrando uma compreensão adequada dos conceitos básicos da física térmica. As interações térmicas do gelo com a mão que dele se aproxima são descritas como resultado de transferências de calor da mão para o ar e deste para o gelo ou, ainda, diretamente para o gelo mediante a radiação.

Do mesmo modo, nas interações da mão que passa pela chama de uma vela sem se queimar, Leonardo considera que *“Mesmo sendo a temperatura da chama muito alta, está transferindo calor mas a transferência não é contínua. (>) Está transferindo calor, para todo o sistema que está em volta da chama. Aí, quando você passa o dedo, em parte vai estar transferindo [calor] para a sua mão, mas só um pouco, assim, não vai alterar tanto sua temperatura”*. Também nesta situação, ele é capaz de identificar transferências de calor por convecção e por radiação, prevendo corretamente o que ocorre quando colocamos a mão sobre a chama ou ao lado dela. Quanto à comparação entre as quantidades de calor transferido no resfriamento de um prego incandescente e de um litro de água fervente, ele coordena as variáveis relativas à massa do sistema e à variação de temperatura: *“O prego vai transferir... Ele está em alta temperatura, mas a massa dele é menor, enquanto a água está em baixa temperatura, mas a massa dela é muito maior. Então ela vai estar transferindo calor, assim... talvez a água transfira mais calor para o ambiente.”* As diferenças entre os materiais envolvidos são, também, levadas em consideração, *“Porque cada um transfere calor, assim, de diferentes maneiras”*. Por isso, a única objeção que podemos fazer em relação a essas composições refere-se ao fato de, uma vez mais, Leonardo referir-se apenas apenas à maior, ou menor, facilidade com a qual o calor se propaga nos materiais, sem destacar as diferentes capacidades térmicas dos objetos envolvidos.

Os processos de regulação térmica são mencionados a partir de uma estrutura geral que coordena as interações. As mudanças no organismo decorrentes de mudanças nas condições de temperatura ambiente são assim descritas: *“Tipo, assim, quando você está num ambiente de 30°, seu corpo está produzindo pouco calor e está arrumando um*

jeito de eliminar calor. Quando você chega num ambiente que a temperatura é mais baixa, seu corpo vai ter que produzir calor e eliminar menos, assim”.

Leonardo concebe energia como *“A capacidade de um corpo, assim, de se movimentar, né? Então energia calorífica é a capacidade do corpo assim de produzir, de transferir calor, a capacidade de transferir calor para o sistema que ele está, assim”.* No entanto ele não é capaz de desenvolver a relação entre calor e movimento – *“Ah, de certa forma, deve ter... Só que não sei explicar”.* O conceito de energia comporta uma noção de conservação, entendida como condição de *“nem acabar e nem criar”.* Quando lhe perguntamos como os temas estudados na unidade se relacionavam a essa idéia de energia como quantidade que se conserva, ele respondeu que *“No nosso corpo mesmo a gente produz energia, assim, transformando ela e nela mesmo a gente vai transformar essa energia em outras formas de energia pra gente mesmo, da melhor forma pro nosso corpo. Aí, essa energia pode ser transformada em calor, o que o nosso corpo precisar, assim. E, dessa forma, mesmo a nossa energia que a gente está usando vai ser transformada em outra energia, passando pela natureza depois”.* Desse modo, a quantidade de energia que vem dos alimentos não se perde, pois *“vai voltar para a natureza quando a gente se decompõe”.* Quando lhe perguntamos se, enquanto estamos vivos, tendo um gasto de energia, essa energia estaria se perdendo, Leonardo responde negativamente: *“Igual no calor. Se eu vou transformando essa energia em calor, estou transferindo essa energia para o ambiente”.* A noção de conservação é, também, corretamente aplicada na previsão da dieta alimentar de um animal heterotermo comparativamente a um homeotermo de mesmo porte físico.

Finalmente, ao ser perguntado sobre natureza do conceito de calor, o aluno surpreende-nos com uma bela reflexão sobre o caráter dos modelos físicos:

“Ah, não sei... Acho que esses negócios de ciências assim são algo imaginário mesmo... que o homem imagina para simbolizar o que ele está pensando naquele momento, mas em qualquer momento, assim, ele pode estar criando uma nova idéia, assim, que daqui a dez anos eles vão estar pensando ‘nossa, eles acreditavam nisso? que bobeira’ (>) Acho que calor é igual energia, é uma coisa, assim, que você tem que imaginar como sendo aquilo e pronto. Você não pode ficar tentando pensar como é que é isso, como é que é aquilo, que senão você vai se perder”.

Em resumo, também em sua entrevista, Leonardo apresenta um modo de pensar sistêmico, trans-objetal, com a presença marcante das idéias de conservação, organização e equilíbrio. Por outro lado, os conceitos de calor e temperatura são

utilizados de maneira adequada nos contextos que lhe apresentamos, com a ressalva de reduzir as propriedades térmicas dos materiais à sua condutividade térmica.

5.5.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise de Processos de Aprendizagem

Leonardo faz parte de um grupo de alunos que inicia os estudos demonstrando conhecimentos significativos sobre algumas metas de aprendizagem da unidade. Portanto, convém examinar dois aspectos, a saber: 1. em que medida o ensino se vale dessa condição privilegiada do aluno, permitindo que seja utilizada como referência para os demais colegas; 2. em que medida o ensino consolida esses conhecimentos e, sobretudo, orienta e possibilita outros progressos e novas aprendizagens.

Em princípio, a resposta é favorável. Leonardo, assim como outros colegas – Cri, Hud, Jul e Liv – constitui-se um contraponto à turma, destacam um modo de pensar predominantemente inter-objetual, duvidam da adequação de observáveis diretamente extraídos da experiência direta e perceptiva com os objetos. A professora procura se valer dessa condição, dando voz a esses alunos e buscando, ao mesmo tempo, criar condições para que outros, também, se apropriem desse discurso.

Nem sempre, no entanto, o resultado é harmônico. Alguns alunos – Cam, especialmente, e seu grupo – consideram antipática a postura dos grupos de Leonardo e de Jul, o que leva a uma recusa em participar das atividades do curso e, sobretudo, das discussões junto à turma: *“Eu fico o tempo todo esperando o tempo passar. Eu não estou entendendo nada da matéria, então, eu prefiro não fazer nada” (>) “Mas não tem graça. Às vezes só quatro pessoas da sala que discutem. Só. Só quatro”¹¹.*

Por outro lado, os alunos com melhor desempenho – sobretudo Cri e Leo –, mostram-se, em várias ocasiões, irritados com a demora da professora em prosseguir, consideram cansativa a dinâmica das aulas, revelando-se insatisfeitos com a abordagem “pouco teórica” do curso. O ritmo do ensino e as formas de abordagem de seus conteúdos vão se configurando a partir dessas diferentes perspectivas, e do modo como a professora as avalia em cada momento.

¹¹ Fala extraída da avaliação realizada com os alunos que apresentaram baixo rendimento na primeira avaliação do curso, durante a primeira aula extraturno, no início do segundo mês do curso.

Ao final do primeiro mês de curso, nossa avaliação era a de que havíamos avançado nos pontos básicos do curso, destacando os conceitos fundadores de calor, temperatura e equilíbrio térmico, com boa parte da turma tendo se deslocado do primeiro para o segundo patamar de entendimento. Entretanto isso foi feito sem muito entusiasmo, com algum tédio e pouco engajamento dos estudantes na proposta do curso. Além disso, havíamos tomado um número de aulas muito maior do que o previsto inicialmente. No segundo mês do curso, procuramos alterar a dinâmica das aulas, apresentar uma quantidade maior de informações e relações, buscando recuperar o engajamento da turma.

Quanto ao segundo aspecto, a avaliação é bastante favorável. Leonardo não apenas consolida as coordenações esquema-esquema, com a construção de relações e transformações, como também as submete a uma estrutura de maior generalidade, coordenada a partir de noções de regulação orgânica e de conservação da energia. Parece-nos, portanto, que a organização dos conteúdos do curso em níveis de abordagem pode, de fato, contribuir para que cada estudante progrida em função de suas possibilidades, continuamente renovadas.

No entanto, devemos, ainda, considerar algumas lacunas e outras possibilidades não desenvolvidas no repertório de conhecimentos de Leonardo. Em primeiro lugar, é preciso examinar os conceitos de capacidade térmica e calor específico. Conforme vimos, ele não os utiliza, simplesmente porque não os considera necessários. Em lugar disso, pressupõe que o calor fornecido ao sistema não é, de fato, por este absorvido, pelo fato de que os diferentes materiais conduzem o calor diferentemente. Assim, a situação experimental que apresentamos para desenvolver uma noção inicial de calor específico – aquecer numa mesma chapa térmica, durante o mesmo tempo, iguais quantidades, em massa, de diferentes substâncias, medindo as variações de temperatura correspondentes – não se mostrou suficiente.

Isso nos levou, mais tarde, a examinar a formação do conceito de capacidade térmica e de calor específico. O que teria levado Joseph Black, em seus estudos de calorimetria no século XVIII, a considerar o aquecimento diferenciado dos materiais como um observável e, mais ainda, como resultante de diferentes reações da matéria a iguais quantidades de calor? Entendemos que a resposta a essa questão está nos pressupostos teóricos do próprio Black, ou seja, na atribuição do calor como quantidade que se conserva, o que é decorrente de seu caráter material (HALBWACHS, 1978).

Ora, isso nos leva de volta ao experimento proposto. Ao contrário dos estudos de Black, que considerava as transferências de calor em sistemas fechados, o nosso experimento consistia no aquecimento de um béquer com líquido exposto ao ar, o que nos impedia de postular a igualdade do calor absorvido pelos líquidos separadamente. No entanto, quando fizemos essa análise, não havia mais tempo nem contexto para que fosse retomada a discussão a propósito do aquecimento diferenciado dos materiais e examinada a validade de nossa hipótese. Faz-se, ainda, necessário destacar a centralidade desse conceito, pois ele dá origem à diferenciação entre calor e temperatura. Na interpretação de Leonardo, a diferenciação é, nesse sentido, desnecessária, pois as variações de temperatura da água e do óleo resultaram do fato de o calor não ter sido o mesmo, nem conduzido do mesmo modo, já que quantidades distintas de calor teriam alcançado o interior de cada líquido.

Quanto às possibilidades não atualizadas, devemos indicar a condição favorável de Leonardo no que se refere à integração de conceitos numa estrutura teórica mais abrangente e o entendimento correto da relação entre modelo e realidade física. Assim, provavelmente ele teria se beneficiado de uma abordagem que privilegiasse as relações micro/macro na investigação dos fenômenos térmicos. Como vimos, a decisão de não fazê-lo foi tomada a partir do número, considerado bastante extenso, de idéias e conceitos presentes na unidade. O tratamento microscópico dos fenômenos térmicos foi retomado, com essa turma, em outra unidade, ao final do ano letivo. O estilo de aprendizagem de Leonardo, assim como de alguns de seus colegas, seria, talvez, mais compatível com uma abordagem “*mais teórica*”, como ele mesmo sugere em sua avaliação ao final do curso.

Finalmente, devemos examinar as atitudes de Leonardo frente ao processo de escolarização. Em vários momentos do trabalho em seu grupo, ele sugere aos colegas não responder nem mais nem menos do que aquilo que lhes fora solicitado. Isso gera uma perda de autonomia e, com frequência, o grupo perde tempo com aspectos pouco relevantes das atividades propostas, não porque os consideram importantes, mas porque, assim, interpretam o que foi proposto. Parece-nos, pois, que os motivos da atividade do aluno ao longo do curso estão mais relacionados à busca de um bom desempenho escolar que à resolução de um problema proposto, com necessidade e motivação internas.

Tais considerações remetem a um problema central para a pedagogia: Como tornar internas necessidades forjadas, a princípio, externamente? A resposta encontra-se no engajamento real – e não ritual, ou rotineiro –, nas práticas discursivas de uma comunidade de aprendizes em sala de aula. Tal engajamento, porém, depende de inúmeros fatores motivacionais ligados à organização do ambiente de aprendizagem, à natureza da tarefa, às expectativas dos estudantes e da professora e às relações interpessoais (PINTRICH et al., 1992). De qualquer modo, convém salientar que o engajamento dos estudantes não pode ser considerado como garantido, *a priori*, pelo caráter supostamente contextualizado da atividade, mas por tratar-se de construção progressiva, forjada nas relações interpessoais e na dinâmica do espaço da sala de aula.

5.6. Examinando Trajetórias: Renato (4º Caso)

A última trajetória que apresentamos é a de Renato, aluno cujo interesse reside em sua singularidade. Ele faz parte de um pequeno grupo que, embora tendo apresentado no Pré-teste produções predominantemente inter-objetais, permaneceu nesse mesmo nível de formulação até o final do curso. Que fatores o teriam impedido de prosseguir? Como poderíamos ter ajustado o ensino buscando favorecer sua progressão? Por outro lado, mesmo não se observando mudanças nos seus níveis de formulação, é possível dizer que ele elaborou, ao longo do curso, novos conceitos e relações?

Assim como ocorreu com Alex, não contamos com muitas contribuições de Renato nos episódios em sala de aula. Não gravamos os trabalhos de seu grupo – integrado por Bru, Raf, Ram e Hud – e, nas discussões coletivas, ele quase sempre mantinha-se calado, embora atento. Além disso, ele não estava presente no dia da aplicação do Teste 1. Tendo, porém, comparecido à aula seguinte, em que comentamos e corrigimos a avaliação, seus dados não têm significado para a pesquisa. Apesar disso, entendemos que os demais instrumentos de avaliação permitem situar, mesmo que com algumas lacunas, sua trajetória ao longo do curso.

5.6.1. Análise do Pré-teste

Apresentamos, em conjunto, as respostas de Renato ao Pré-teste, comentando-as em seguida:

- 1) *A temperatura se mantém constante por causa da camada de gordura que temos.*
- 2) *O ventilador só ajuda manter a temperatura. Sem o ventilador, a temperatura de nosso corpo se manterá constante.*
- 3) *Quando fazemos exercícios físicos, o movimento dos músculos produz calor, queimando gordura.*
- 4) *Os tremores involuntários é para produzir calor com o movimento dos músculos. O atrito das mãos se esfregando produz calor.*
- 5) *A temperatura da limonada é mais quente do que a do gelo. O gelo irá derreter devido a alta temperatura e a limonada vai ficar mais fria por causa do gelo. Isso acontece devido a transferência de calor.*
- 6) *O café vai ficar da temperatura ambiente. Quando assopramos, o café esfria mais rapidamente porque tiramos o ar quente que está perto do café, colocando ar frio em seu lugar.*
- 7) *Um objeto vai demorar para esfriar mais do que o outro, porém, após um longo tempo, vão ficar com a mesma temperatura.*
- 8) *Quando estamos com febre, a temperatura se eleva, porque não transpiramos.*

Na resposta à primeira questão, a explicação de uma “propriedade” do nosso corpo – apresentar temperatura constante – é explicada por um de seus “aspectos” – ter gordura. Não são evocados mecanismos de regulação, segundo condições variadas do ambiente em que vivemos nem, tampouco, coordenados aspectos de produção de calor com aspectos ligados a transferências de calor para o ambiente. Portanto trata-se de uma explicação, embora parcialmente correta, centrada em objetos, mas não em transformações nem em sistemas. Ao contrário da maior parte das produções de Renato ao Pré-teste, está é uma explicação intra-objetal.

A resposta dada à segunda questão é de difícil interpretação. O aluno começa dizendo que o ventilador apenas ajuda a manter a temperatura, mas não temos elementos para decidir se ele se refere à temperatura corporal, à temperatura ambiente ou a ambas. A segunda frase é mais obscura, porque sugere, por negação, que a presença do ventilador faz com que a temperatura do corpo não se mantenha constante. Poderíamos supor que a expressão “manter-se constante”, neste caso, signifique “manter-se igual ao ambiente”, o que não aconteceria quando o corpo se refresca ao vento. Parece, pois, que estamos diante de uma dificuldade de coordenar e diferenciar elementos – temperatura corporal, temperatura ambiente e ventilação –, o que, também, confere um estatuto intra-objetal, de subnível IB, à essa produção de Renato. Uma segunda interpretação consistiria em supor a manutenção da temperatura como se referindo a uma condição dada inicialmente: "o ventilador mantém a temperatura corporal constante e baixa e sem ele a temperatura corporal se manterá constante e mais

alta". Mesmo com esse entendimento, a sua resposta permanece claramente intra-objetal.

Nas respostas às questões 3 e 4, Renato refere-se a três mecanismos ligados à produção de calor: a queima de gorduras durante atividades físicas, a partir do movimento dos músculos e através de atrito entre as mãos. Entretanto ele não apresenta qualquer relação entre os diferentes modos de produção de calor, o que é um indício de inexistência de estruturas e sistemas mais abrangentes. Nesse sentido, o aluno refere-se a “eventos”, enquanto relação entre elementos com propriedades estáveis (WELZEL & AUFSCHNAITER, 1997): o calor está associado à combustão, aos movimentos e ao atrito.

Na quinta questão, Renato refere-se comparativamente às condições de “mais quente” ou “mais frio” da limonada e do gelo, bem como às suas transformações recíprocas durante a interação. No entanto a transferência de calor é apenas mencionada, sem estar suficientemente integrada à descrição/explicação do fenômeno.

Podemos notar uma referência implícita à noção de equilíbrio térmico nesta quinta questão e na seguinte. Verifica-se uma descrição adequada dos processos de transferência de calor: o café, em contato com o ar frio, aquece-o; o vento renova o ar em contato com o café, acelerando o processo. É sintomático o fato de essa mesma explicação não ser evocada na resposta à segunda questão, análoga a esta sob um ponto de vista de processos físicos de transferência de calor.

Na sétima questão do teste, mais uma vez, manifesta-se a idéia de uniformidade final de temperatura, com uma clara diferenciação entre estado final e processo de aquecimento / resfriamento. Contudo Renato não explicita o processo de transferência de calor entre os materiais envolvidos.

Finalmente, na última questão, o aluno estabelece uma conexão causal entre transpiração e manutenção de temperatura corporal. A transpiração é evocada como mecanismo de manutenção de temperatura, o que revela a existência de uma noção de processos de regulação térmica. Seria possível, ainda, identificar a resposta dada à situação de febre com procedimentos caseiros de “fazer suar” para que ela ceda. Tal procedimento, desastroso para o paciente, decorre do fato de o sintoma de transpiração intensa acompanhar a fase em que a febre começa a ceder.

De maneira geral, em que pesem as respostas dadas às primeiras questões do Pré-teste, predominam, na avaliação de Renato, composições inter-objetais, de subnível IIA.

5.6.2. Análise do Pós-teste

Com relação ao teste realizado anteriormente, Renato demonstra, no Pós-teste, ter consolidado as composições inter-objetais de partida. Uma das novidades desta nova avaliação consiste no fato de mencionar, explicitamente e de forma generalizada, os processos de transferências de calor entre corpos a diferentes temperaturas:

“Com a troca de ar que o ventilador faz, perdemos mais calor para o ambiente, nos refrescando mais rápido.”(Pós-teste, questão 2)

“A limonada perde calor para o gelo que, por sua vez, derrete devido ao calor que está sugando. Nesse caso houve transferência de calor da limonada para o gelo.”(Pós-teste, questão 5)

“O café esfria porque está perdendo calor para o ambiente. Quando assopramos, acontece uma troca de ar, tirando o ar aquecido de perto do café e colocando um ar mais frio.”(Pós-teste, questão 6)

“O agasalho nos isola do meio externo e, então, aquecemos o ar que está entre o corpo e o agasalho, passando a não sentir frio. Os tremores involuntários e quando esfregamos as mãos causa um atrito, produzindo calor.” (Pós-teste, questão 4)

“São iguais, pois tendem a estar em equilíbrio térmico. Todos os objetos vão ficar na mesma temperatura, porém uns vão atingir essa temperatura mais rápido do que os outros.” (Pós-teste, questão 7)

Na primeira questão, o aluno estabelece uma diferenciação entre temperatura interna corporal e temperatura da pele, mas essa descrição não fornece mecanismos explicativos para a manutenção de temperatura corporal. As transformações que garantem essa condição permanecem restritas à transpiração, como se observa na resposta à terceira questão:

“Sim, pois a temperatura interna do corpo não varia, a temperatura da pele e das extremidades varia um pouco.” (Pós-teste, questão 1)

“Quando fazemos exercícios físicos a temperatura do corpo se eleva e transpiramos para manter a temperatura.” (Pós-teste, questão 3)

5.6.3. Análise das Avaliações

Como já explicado, não temos dados referentes ao primeiro teste de Renato. Das atividades extraclasse, merece destaque a síntese em torno da questão do balanço energético:

“Todos os corpos tendem a ceder ou transferir calor a um corpo que está com menor calor. A transferência de calor só pára quando as temperaturas se igualam.

Como a temperatura de nosso corpo é sempre maior que a temperatura ambiente, estamos sempre transferindo calor para o ambiente. Mas nunca pode chegar a um equilíbrio térmico, pois estamos sempre produzindo calor dentro de nosso corpo.

Como os animais precisam de energia para manter sua temperatura, fazem uma transformação química de açúcares, gorduras e proteínas em outras substâncias no interior de seus organismos.”

Esse texto contém a mesma estrutura lógica do texto da apostila (Anexo 1, p. 17), com a substituição de algumas expressões e uma estruturação mais sintética. Apesar disso, a primeira frase indica um entendimento da temperatura como medida do calor contido no corpo. Por outro lado, as transferências de calor entre organismo e meio solicitam um suprimento constante de energia, atribuído ao metabolismo.

Entretanto, ao longo do Teste 2 e da Entrevista, Renato não sustenta esse pensamento sistêmico. Na resposta à primeira questão, a manutenção de uma temperatura “máxima” do ferro de solda é considerada como um atributo do aparelho. Além disso, ao ignorar as interações térmicas entre o ferro aquecido e o ar à sua volta, o aluno revela desconhecer os problemas de fronteira, supondo que todo o material apresenta uma mesma temperatura:

“Como o ferro está sempre recebendo a mesma quantidade de energia, quando chegar à sua temperatura máxima, irá mantê-la.” (Teste 2, questão 1b).

“O ferro de solda e o corpo humano estão sempre produzindo calor e transferindo para o meio. Todo o ferro estará na mesma temperatura, o que não acontece no corpo humano; as extremidades estarão mais frias do que o interior e mais quentes do que a temperatura ambiente.”(Teste 2, questão 1c)

Na resposta à segunda questão do teste, ao comparar animais homeo e heterotermos no que se refere às trocas de energia com o meio, Renato falha ao explicá-las como decorrência do isolamento térmico de suas estruturas de revestimento:

*“Os animais homeotermos têm a temperatura corporal constante, pois estão sempre produzindo calor. Com isso, **sempre** transmitem calor para o meio e **nunca** recebem calor, **pois** têm um bom isolamento térmico. Os animais heterotermos não têm a temperatura corporal constante, estão sempre trocando energia com o meio, pois não têm um bom isolamento térmico.” (Teste 2, questão 2b; grifos nossos)*

De um ponto de vista científico, as contradições são evidentes: um bom isolamento térmico impediria as transferências de calor, qualquer que fosse o seu sentido – do organismo para o meio ou vice-versa. Além disso, Renato não considera as possibilidades de que o organismo possa, ao mesmo tempo, transferir e receber calor do

meio. Ignora, igualmente, as modificações da condutibilidade térmica da pele como resultado de dilatação de vasos capilares. Ele apresenta, assim, um bom domínio de fatos: os homeotermos têm um bom isolamento térmico, apresentam temperatura corporal constante e transferem continuamente energia para o meio em que vivem. Entretanto não é capaz de coordenar essas informações em um sistema explicativo coerente.

Ao responder à quarta questão, o aluno explica as diferenças entre as temperaturas corporal e da pele a partir do maior, ou menor, “contato” com o meio externo (item 4a). A inexistência de uma estrutura de conservações nas transferências de energia em jogo é, porém, evidente nas respostas dadas a situações extremas, quando a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal (item 4b) ou em situações em que esta é inferior à temperatura ambiente (item 4c):

“Por estarem nas extremidades, têm pouco contato com a temperatura interna do corpo e maior contato com o meio, fazendo assim a temperatura [da pele] ficar maior do que a temperatura ambiente e menor do que a temperatura corporal.” (Teste 2, questão 4a)

“A temperatura das extremidades vai aumentar, ficando maior do que a temperatura ambiente, pois ainda estarão recebendo calor do corpo.” (Teste 2, questão 4b)

“A temperatura interna do corpo vai continuar a mesma, pois existe um isolamento térmico, não deixando a temperatura interna subir. O que vai ficar maior é a temperatura da pele, pois a gordura que fica por dentro da pele é que vai fazer o isolamento.” (Teste 2, questão 4c)

Renato centra sua atenção ora nas transferências “por contato” de calor para o meio, ora na produção interna de energia. A inexistência de coordenação entre esses dois elementos, que só poderia ser realizada no interior de um sistema completo de compensações, explica as contradições de suas deduções. Assim, no segundo caso (item 4b), o aluno supõe que a temperatura da pele supere a temperatura ambiente, mesmo inferior à do organismo, posto que esta recebe calor do interior. No item seguinte ocorre o oposto: a temperatura da pele eleva-se não por ação do calor do organismo, mas do calor que recebe do ambiente. A hipótese poderia parecer, à primeira vista, plausível, mas ela é incompatível com os processos de produção contínua de energia pelo organismo, por meio do metabolismo.

Na terceira questão do teste, Renato resolve o problema posto a partir dos processos de transferência de energia entre sistemas a diferentes temperaturas:

“Os filhotes dos pingüins nascem com a camada de gordura menor que os pingüins adultos, facilitando a troca de energia com o meio. Eles ficam em grupos para que os filhotes não percam calor para o meio, diminuindo a superfície de contato e mantendo a temperatura dos filhotes.” (Teste 2, questão 3).

Finalmente, quanto aos conceitos de calor e temperatura, Renato apresenta idéias de calor como agente de transformações, mas supõe a temperatura como sua medida:

“O calor é uma energia. A temperatura é a medida da quantidade dessa energia. O calor é uma forma de energia porque faz acontecer alguma coisa. O frio é uma linguagem popular. O que existe é muito calor e pouco calor.” (Teste 2, questão 5).

Vemos, assim, ao longo deste teste, a manutenção e o aperfeiçoamento de raciocínios inter-objetais, com coordenações esquema-esquema permitindo a análise e descrição de situações físicas, mas incapaz de deduzir ou prever resultados em várias delas. Renato avança em direção ao subnível IIB, quando se consideram suas inferências. Contudo subsistem, ainda, vários problemas: a indiferenciação parcial entre o conceito de calor e o de temperatura; a suposição de que um suprimento constante de energia provoca temperatura constante; o isolamento térmico assimétrico em relação ao sentido do fluxo de calor; e a desconsideração de todos os elementos em interação térmica.

5.6.4. Análise dos Dados da Entrevista

A Entrevista de Renato consolida alguns aspectos ressaltados na avaliação anterior. O aluno reconhece o sentido das transferências de energia entre corpos a diferentes temperaturas e demonstra compreender o equilíbrio térmico como resultado final dessas transferências. Além disso, ao contrário do que apresentou no Teste 2, ele estabelece uma certa diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura:

Seqüência 1: Intensidade versus Quantidade de Calor

Entr: Vai transferindo, também, calor pro ambiente. Agora, qual desses dois materiais transfere mais calor pro ambiente enquanto esfria, até atingir o equilíbrio térmico: o prego ou água quente?

Ren : Deve ser a água, porque a água é maior, apesar de ser mais baixa...O volume dela é maior...

Entr: A quantidade de água é maior...

Ren : É... Transfere mais, uma área maior..

Entr: Transfere mais calor com uma área maior

Ren : É...

Entr: Transfere calor mesmo?

Ren : É, energia..

Entr: Não é temperatura?

Ren : Não.

Entr: As temperaturas aqui... Este aqui tem temperatura mais de oito vezes a da água, né?
Ren : É...
Entr: Mesmo assim, ele transfere menos calor que a água?
Ren : É, eu acho que sim... O calor é mais forte, né? Porque a temperatura é mais alta.
Entr: Calor mais forte... Como assim? Como é que é essa história?
Ren : Porque ele está a 800° e a água está a 100. Aí vai transferir muito calor a 100° e vai transferir menos calor, só que a 800°. Diminuiu...
Entr: E qual dos dois transfere mais calor? É a água...
Ren : A água
Entr: Mas o calor desse aqui é mais forte?
Ren : É...
Entr: O que é isso? Calor ser mais forte?
Ren : Ah... 800 °. Maior que a temperatura da água.

Ao longo da entrevista, como havia feito no Pós-teste, Renato elabora modelos para explicar a produção do calor no interior do organismo. Assim como o calor, a energia é evocada como uma substância. Embora admita a propriedade de transformar-se continuamente, esse argumento não leva à quantificação dos processos, o que explica a ausência de sua conservação.

Seqüência 2: De onde vem o calor que produzimos?

Entr: Você estava falando de produção de calor. Como é que nosso corpo produz calor?
Ren: É... Como que chama? É as células que produzem... O metabolismo? Não sei, um negócio assim...
Entr: E o que é o metabolismo?
Ren: É as células que produzem o calor... Elas se chocam, sei lá...
Entr: De onde vem esse calor?
Ren: Elas produzem.
Entr: Mas tinha alguma coisa antes disso? Esse calor, você obtém...
Ren: Ah, deve converter alguma substância das células. Aí elas vão e transformam em calor...

As mudanças de temperatura do meio acarretam mudanças na temperatura da pele, mas essas modificações não envolvem qualquer atividade reguladora do organismo. Além de supor um organismo passivo, Renato não generaliza o sentido de propagação do calor nos casos em que a sensação de calor é intensa, embora a temperatura ambiente seja inferior à temperatura corporal. Nesses casos, ele supõe que a sensação de calor decorre de fluxos de calor do meio para o organismo, ao contrário do que ocorre quando sentimos frio.

Seqüência 3: O que muda em meu corpo quando muda a temperatura ambiente?

(Situação: uma pessoa anda na rua em dia de muito calor, com a temperatura do ar em torno de 30 °C, e entra em um banco, com ar condicionado ligado e temperatura em torno de 15 °C).
Ren: A temperatura da pele vai abaixar.
Entr: Vai atingir os 15°?
Ren: Não... Abaixa um pouco.

Entr: Abaixa um pouco. E que mais muda? A temperatura da pele muda. Muda mais alguma coisa no nosso corpo?

Ren: Acho que não... A temperatura interna do corpo sempre está a mesma...

Entr: Mas atividade, mecanismo do nosso corpo, coisas que estejam acontecendo, nada muda, só muda a temperatura da pele?

Ren: Ah, eu acho que é...

Entr: Lá fora também estava transferindo calor pro ambiente?

Ren: Não... estava a 30°, né? A pele não, porque a pele é mais fria que a temperatura interna do corpo.

Entr: Hein?

Ren: A pele é mais fria que a temperatura interna do corpo.

Entr: Sei...

Ren: Então ela está recebendo...

Entr: Ela está recebendo calor do ambiente?

Ren: É...

Entr: Por isso que você sente calor?

Ren: É...

Entr: Como é que o corpo faz isso? A temperatura da pele é mais baixa que a do ambiente?

Ren: A pele é tipo um isolante... isolante térmico...

Entr: Ok. Tem outras coisas que mudam na pele? Maneira do nosso corpo... Circulação do sangue...

Ren: Quando está mais quente a circulação é mais rápida, né?

Entr: Por que isso?

Ren: Não sei...

Na seqüência, Renato atribui os mecanismos de transferência de calor por transpiração às propriedades térmicas do suor, que retira e conduz o calor do corpo:

Seqüência 4: O suor, agente de transporte de calor

Entr: E o suor? Como é que é essa história da transpiração?

Ren: Ah, você sente calor, você... O ambiente transfere calor... Aí que... fica quente a gordura, sei lá... Aí, você transpira, ajuda a manter a temperatura da pele.

Entr: Como isso ocorre?

Ren: É... Você está quente, né? Aí, mantém a temperatura da pele.

Entr: E a transpiração com isso? Eu não entendi...

Ren: A transpiração esfria a pele, você vai perder calor pro suor, o suor seca e você perde o calor.

Entr: Enquanto o suor seca é que você perde o calor?

Ren: É, você vai transferindo calor pro suor, ele vai secando, você vai perdendo...

Entr: Sei... Como é esse negócio de transferir calor pro suor?

Ren: Sua pele é quente...

Entr: O suor é mais frio?

Ren: Ah, ele é melhor condutor que o ar... Aí, ele transfere calor pro suor...

Entr: Passa calor como? Calor aqui é alguma coisa tipo substância que vai embora com o suor, é isso?

Ren: É... Você transfere calor pro suor...

Entr: Alguma coisa que vai junto com o suor?

Ren: É... Você perde calor pro suor...

Entr: Sim, mas eu quero saber: Quem perde calor pro suor?

Ren: Ah, não sei. Deve ser que o suor perde calor pro ambiente. Aí quando ele perde calor pro ambiente, ele suga calor... Transfere calor pro suor. Aí você perde calor de dentro do seu corpo.

As interações térmicas são compreendidas como interação entre objetos; a pele diferenciando-se do organismo como um todo. Não há quantificação dos processos de transferência de energia, mas apenas suposição quanto à inversão dos fluxos. Disso, resultam contradições, não percebidas por Renato, para quem a manutenção de temperatura corporal implica negação de fluxos de calor pelo organismo. Ele não apresenta, portanto, um sistema de composições que lhe permita deduzir as condições para a manutenção da temperatura corporal.

Seqüência 5: Corpo, Pele e Ambiente

Entr: Essa quantidade de calor que você está transferindo pro ambiente depende de quê?

Ren: Ah, depende... Se o ambiente estiver mais quente, você não vai transferir calor pro ambiente, o ambiente é que vai transferir calor pra você...

Entr: Depende de que mais?

Ren: Acho que é só isso.

Entr: Nosso corpo não muda... O suor, você tem uma certa temperatura... Por exemplo, você entrou no banco, aquela história lá... Você entrou, o ar condicionado, a temperatura muito baixa. Seu corpo tem algum mecanismo para diminuir a quantidade de calor transferida para o ambiente?

Ren: Não. A pele é que vai perder calor. Seu corpo não perde não, seu corpo está numa mesma temperatura.

Entr: A pele está perdendo calor...

Ren: Mas ela, também, recebe calor do interior do corpo...

Entr: Será que, desse jeito, no fim das contas, o corpo também não está perdendo calor? Porque a pele está perdendo calor pro ambiente, mas o corpo está transferindo calor pra pele?!

Ren: Mas as células produzem calor... Está sendo produzindo... O calor fica sempre a 36, 37 graus no interior do corpo.

Entr: E qual a condição pra ter a temperatura interior constante?

Ren: Condição?

Entr: É...

Ren: A condição é que... as células produzindo calor.... Acho que é isso...

Esta seqüência sinaliza, de modo bastante claro, as idas e vindas do pensamento do aluno. Como havíamos sinalizado, ao início da entrevista, ele apresenta uma construção bastante significativa ao diferenciar quantidade e intensidade do calor. Aqui, pelo contrário, os termos permanecem indiferenciados e a manutenção do calor/temperatura implica a ausência de fluxos de energia. Apenas a pele interage com o meio, transferindo calor, quando se sente frio; ou recebendo calor, quando está quente. Ao mesmo tempo, a pele recebe calor do corpo, mas isso não modifica em nada as condições físicas do organismo.

Não há dúvida, portanto, de que Renato não atinge o nível III de composições sistêmicas e integradas, visto que não apresenta raciocínios conservativos, nem,

tampouco, mecanismos de regulação. Quanto ao acabamento das relações que estabelece, podemos dizer que Renato oscila entre os subníveis IIA e IIB. Os problemas que o impedem de prosseguir parecem ser de dupla natureza. Em primeiro lugar, o aluno interpreta as sensações térmicas pela dualidade do receber/transferir calor para o meio e não, pela intensidade das transferências. Essa primeira característica revela o quão atrativo é o pensamento categorizador e dicotômico e quão difícil é a construção de uma lógica relacional e quantitativa. Em segundo lugar, a ausência de coordenação entre dois processos que atuam simultaneamente, em direções opostas e variando conforme as condições internas e externas: de um lado, mecanismos de produção de calor; de outro, processos de transferência de calor para o ambiente.

5.6.5. Reflexões sobre o Ensino a partir da Análise dos Processos de Aprendizagem

A primeira pergunta que nos fazemos é sobre o aprendizado de Renato ao longo do curso. Tendo mantido as mesmas formas de raciocínio, o mesmo nível de conhecimentos, teria ele tirado algum proveito do curso, para além de conhecimentos específicos e em direção a processos formadores mais gerais? Entendemos que a resposta seja afirmativa, porquanto Renato, assim como todos os outros alunos da sua turma, teve oportunidades variadas para explorar uma argumentação racional, apoiada empiricamente, mas que ultrapassava o plano da experiência direta através da construção de hipóteses e inferências. Esse é o jogo da ciência, jogo difícil de ser compreendido e praticado.

Do ponto de vista das hipóteses de trabalho, embora tenham elas o mesmo estatuto inter-objetual das construções de partida, podemos dizer que os avanços foram, também, significativos. O conceito de calor, considerado como transferência de energia entre sistemas a diferentes temperaturas, passou a ser amplamente empregado, em uma variedade de situações. A diferenciação parcial entre o conceito de calor e o de temperatura, em que pesem alguns problemas, permitiu a construção de uma base conceitual mais estável, sobre um campo de fenômenos dos quais, certamente, Renato terá muito o que aprender.

Entretanto convém examinar as estratégias que utilizamos e as que poderiam ter sido utilizadas, para fazer emergir um pensamento teórico, abstrato e sistêmico. Recorremos, para isso, a analogias, buscando um sistema menos complexo que o

organismo vivo, mas que apresentasse as mesmas condições de um sistema aberto em equilíbrio dinâmico. Os efeitos dessa estratégia não foram bem sucedidos com Renato, que utilizou condutas do tipo β , a fim de afastar perturbações por meio de ajustes locais em seu sistema de pensamento.

Poderíamos imaginar os efeitos de estratégias como as apresentadas por ARNOLD & MILLAR (1996), que recorrem a uma analogia dos fluxos de energia com os fluxos de água em um recipiente com entrada e saída reguláveis. Decidimos, porém, não fazê-lo para não legitimar e consolidar um modelo de calor e energia como algo material, ainda que não-visível, que sabemos constituir-se em forte obstáculo para aprendizagens futuras no campo da termodinâmica. Em nosso curso, procuramos conviver com esse modelo, largamente utilizado pelos estudantes, sem que ele fosse alvo de nossas intervenções, porque ele se caracteriza por uma heurística positiva, que procuramos explorar ao máximo. Contudo procuramos não consolidá-lo como o “nosso” modelo, ou seja, não lhe demos um estatuto de cientificidade.

Outra estratégia consistiria em examinar, com mais detalhes, situações-problemas que envolvessem o “balanço energético” dos organismos, como, por exemplo, o “caso das focas do Ártico”, a migração das baleias ou, ainda, os riscos e cuidados em caso de insolação. Esses problemas, colocados ao final da unidade temática (ver Anexo 1), não foram devidamente explorados, devido ao tempo excessivo que utilizamos para desenvolver a primeira parte da unidade, quando trabalhamos com os conceitos básicos da física térmica, procurando superar as dicotomias calor/frio no entendimento dos fenômenos. Pela característica de seus conhecimentos prévios, Renato teria se beneficiado mais do curso se houvésemos dado menor ênfase a esses primeiros obstáculos. Mais uma vez, ressaltamos que os ritmos e ênfases do ensino são regulados pela avaliação que a professora faz do *conjunto* de sua turma e não dos sujeitos tomados individualmente. A educação escolar é essencialmente coletiva. Uma avaliação pela média do grupo não atende, de forma plena, àqueles que se encontram um pouco acima, ou abaixo, da média das formas de entendimento que a professora atribui a seus alunos. Dispomos de alguns recursos para diferenciar esse atendimento, como trabalhos extra e formas diferenciadas de intervenções nos grupos de trabalho. Tais dispositivos, no entanto, são insuficientes para uma “individualização dos processos de formação” (PERRENOUD, 2000a), dadas algumas características constitutivas dos processos educativos escolares.

Uma última observação refere-se à agilidade e regularidade dos instrumentos de avaliação. Talvez pudéssemos ter feito intervenções mais positivas junto ao grupo de Renato, se tivéssemos tido uma avaliação prévia de suas dificuldades. Como ocorre com frequência na escola, tivemos consciência delas somente depois de encerrado um ciclo de trabalho com o tema. As observações em sala de aula, durante o trabalho dos grupos ou nos debates com a turma, não nos foi suficiente para essa avaliação. No grupo de Renato, a liderança de Hud mascarava os problemas de alguns de seus colegas. É importante lembrar, ainda, que um número maior de atividades formais de avaliação, além de sobrecarregar o trabalho docente, demanda tempo de ensino. São esses fatores cruciais que, muitas vezes, condicionam nossas decisões e comprometem uma aprendizagem que poderia ser, talvez, mais fecunda.

Considerações Finais

Este capítulo finaliza o trabalho, destacando questões e problemas para futuras investigações, assim como seus desdobramentos para a pesquisa e a prática em educação em ciências. Para orientar tais reflexões, ele foi dividido em três seções. Na primeira delas, examinamos, a partir dos resultados da pesquisa, as proposições do modelo de ensino, no que se refere tanto ao planejamento quanto à avaliação da aprendizagem, de modo que se destaque sua heurística e relevância para a educação em ciências.

Na segunda seção, destacamos a necessidade de se diferenciarem e estabelecerem relações mais fecundas entre as dimensões do ensino e da aprendizagem. Tais relações não são simétricas ou necessariamente harmoniosas, o que nos leva a identificar tensões na condução de práticas docentes inspiradas em princípios construtivistas.

Finalmente, na terceira seção, encerramos o trabalho com algumas considerações a propósito da formação de professores e os possíveis desdobramentos do modelo de ensino como estratégia para o desenvolvimento profissional de educadores. Ao considerarmos o modelo de ensino como integrante de utopias pedagógicas, no atual contexto de reformas educacionais, ressaltamos as pressões exercidas sobre os professores, dos quais se exigem novos compromissos, ao mesmo tempo que são mantidos os programas de ensino, extremamente rígidos e extensos, e as formas de organização do trabalho pedagógico.

1. Modelo de Ensino: Reflexões a Partir dos Resultados da Pesquisa

Apresentamos, ao longo desta pesquisa, um modelo de ensino que, apoiando-se em sólidas bases epistemológicas e psicológicas, busca oferecer uma resposta a um problema de natureza pedagógica, a saber: Como organizar os conteúdos do ensino e as metas de aprendizagem objetivando favorecer uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes? O modelo oferece instrumentos de análise dos conteúdos do ensino, examinando-os na perspectiva dos processos de aprendizagem. Além de servir como referência ao planejamento de seqüências ou módulos didáticos, eles permitem acompanhar o progresso dos estudantes, o que favorece uma regulação da condução do ensino e dos processos de aprendizagem.

Nesse sentido, podemos dizer que o modelo proposto se insere em um amplo movimento de inovações educacionais de inspiração construtivista, que busca oferecer respostas aos impasses criados pelo esgotamento de uma tradição de trabalho pedagógico centrada na transmissão por acréscimos cumulativos de conhecimentos. Esse modelo não pretende esgotar todas as questões colocadas como necessárias para a construção de uma pedagogia construtivista, sendo, por isso, um entre tantos outros modelos pedagógicos de inspiração construtivista. Oferece, entretanto, instrumentos teórico-práticos para se lidar com a questão crucial da progressão dos níveis de complexidade dos conteúdos do ensino e das formas de entendimento dos alunos, ao longo das interações em sala de aula.

O exame das questões colocadas pelo planejamento do ensino e pela avaliação da aprendizagem permite-nos avançar na proposição de algumas conclusões, mesmo que preliminares e, por isso, sujeitas a novos confrontos com os aspectos da realidade que procuramos compreender e em que desejamos intervir.

Do ponto de vista do planejamento do ensino, apresentamos indicadores favoráveis relacionados à flexibilidade do modelo, visando permitir abordagens diversas de temas e conceitos científicos. O planejamento da unidade “Regulação Térmica nos Seres Vivos” configurou-se em um conjunto de opções curriculares que apontavam para um tratamento temático e integrado, específico ao ensino de ciências. Contudo, é possível vislumbrar, a partir do modelo proposto, o planejamento de cursos com outras ênfases curriculares, tais como orientações do tipo CTS, perspectivas histórico-filosóficas, projetos de investigação dirigida, e assim por diante. Coloca-se, então, como desafio para a pesquisa, a necessidade de desenvolver, em diferentes contextos – conteúdos, abordagens e níveis de escolarização –, um maior número de planejamentos, segundo os pressupostos do modelo. Desse modo, será possível ampliar o exame da adequação e generalidade de seus princípios.

Ao acompanhar as diversas trajetórias dos estudantes ao longo do curso, verificamos que não existe uma seqüência didática ótima, que se ajuste do mesmo modo a todos os estilos de aprendizagem, interesses e habilidades dos alunos. O ajuste da seqüência didática às possibilidades e interesses do grupo é uma necessidade inerente aos princípios construtivistas, uma vez que entendemos serem os estudantes os responsáveis pelos próprios processos de aprendizagem. Assim, por exemplo, quanto à didática do calor, não há, a nosso ver, uma resposta definitiva sobre a conveniência ou

não de lidar com modelos microscópicos na interpretação de fenômenos térmicos, em sua primeira abordagem introdutória. Para alguns alunos, nesta pesquisa, as relações entre as variáveis macroscópicas e suas composições no interior de um sistema de compensações mostraram-se suficientes como modelo explicativo para os processos de regulação térmica dos seres vivos que nos propusemos investigar. Outros, porém, queixaram-se do caráter “pouco teórico” do curso, solicitando explicações mais profundas para os fenômenos e conceitos da física térmica.

Isso não significa que o modelo sirva como justificativa para qualquer planejamento proposto. Por exemplo, se recorrermos aos modelos microscópicos para o tratamento de fenômenos térmicos far-se-á, então, necessária uma análise preliminar dos observáveis e das relações em jogo, antes de submetê-las ao tratamento dedutivo de um modelo teórico que parte de hipóteses atribuídas ao real, sem que seja possível examiná-las diretamente. A passagem da lógica de atributos, bastante comum nas estratégias do senso comum, à lógica das relações e transformações e destas aos modelos e sistemas explicativos de caráter mais teórico e abstrato constitui, na nossa opinião, um comportamento recorrente na evolução do pensamento, na sociogênese, na psicogênese ou na aprendizagem escolar.

Em lugar de padronizar processos, o modelo permite que sejam contemplados diferentes aspectos do ensino de ciências, quais sejam, progressos no que diz respeito aos observáveis (intra), às regularidades e transformações (inter) e aos modelos causais (trans). De modo geral, pode-se dizer que o ensino nominaliza processos, tratando relações e modelos como realidades em si. Uma análise dos currículos de ciências aponta para uma excessiva categorização no ensino de biologia, ainda bastante arraigado a uma perspectiva herdada dos naturalistas do século XIX. A química escolar, embora preocupada com o estudo leis empíricas e transformações, tem também reduzido os fenômenos aos nomes a eles atribuídos e o trabalho com modelos atômicos, apresentados muitas vezes sem qualquer relação com os fenômenos da matéria. Por sua vez, o ensino de física, pela tradição proveniente das escolas técnicas, acaba por privilegiar a manipulação exaustiva de equações e variáveis, sem que sejam feitos progressos correspondentes nos observáveis ou nos modelos físicos subjacentes. Uma teoria pode ser ensinada como mera descrição da realidade e não, como um sistema de composições atribuídas ao real, ou seja, é sempre possível transformar qualquer "dinâmica" numa "cinemática". Ao explicitarmos, nos vários níveis de abordagem dos

conteúdos escolares, os aspectos intra, inter e trans-objetais, entendemos que o modelo pode contribuir para indicar um maior equilíbrio desses aspectos, assim como uma progressão em sua apresentação. Tais análises, realizadas nesta pesquisa com conteúdos da física térmica, podem ser ampliadas em estudos futuros, o que constitui, para nós, uma contribuição original e significativa para o desenvolvimento de currículos de ciências.

Quanto à avaliação da aprendizagem, os resultados da pesquisa oferecem elementos para a proposição dos níveis de entendimento como “*dispositivos para uma pedagogia diferenciada*”, no sentido proposto por PERRENOUD (2000 a, 2000b). Para esse autor, um dos desafios colocados à pedagogia nas sociedades contemporâneas tem sido o de “*individualizar os percursos de formação*”, favorecendo o progresso de cada um segundo suas possibilidades atuais, constantemente renovadas pela ação docente. Isso forneceria uma “*via intermediária entre uma condescendência excessiva e a arregimentação numa marcha forçada*” (PERRENOUD, 1999b, p. 9). Essa via intermediária é estreita e apenas postulada, uma vez que não conhecemos as *possibilidades virtuais* de um sujeito particular, senão quando ele progride efetivamente. Apesar dessa dificuldade conceitual, podemos afirmar que a individualização dos percursos de formação é tão mais efetiva quanto mais diversificadas são as metas de aprendizagem. É exatamente isso que propomos por intermédio do modelo. Ao traduzirmos os conteúdos de ensino em diferentes níveis de complexidade, cada um deles comportando aspectos ligados aos observáveis, às relações e às teorias, estamos pretendendo que os estudantes possam extrair diferentes proveitos de uma mesma abordagem de ensino.

Os resultados da aprendizagem, discutidos no capítulo 5, corroboram essa interpretação. Não apenas as formas iniciais de entendimento mas, também, as trajetórias dos alunos da turma são extremamente diversificadas. Embora alguns deles tenham demonstrado progressos menores que os esperados e, certamente, inferiores às suas possibilidades, poucos foram aqueles que não apresentaram mudanças significativas nos níveis de compreensão dos problemas propostos. Por outro lado, mesmo aqueles que se situavam além do nível que concebemos como básico, no início do curso, tiveram oportunidades de aprendizagem relevantes, inseridas num nível de formulação de maior complexidade e generalidade.

Além disso, os resultados da pesquisa incluem indicadores favoráveis à hipótese de que a progressão dos conteúdos do ensino, ao longo do curso, favoreceu as mudanças cognitivas, entendidas como construção de novos significados e modos de raciocínio acerca de aspectos da realidade. Preferimos, no entanto, ser cautelosos com relação a essa indicação e aguardar que novos estudos empíricos venham corroborar ou enfraquecer essa hipótese de trabalho.

2. Ensinar e Aprender: Encontros e Tensões

O modelo de ensino que apresentamos oferece algumas interseções entre a didática, a epistemologia e a psicologia da aprendizagem. Do ponto de vista da docência, as questões cruciais em sala de aula remetem ao reconhecimento do ensino e da aprendizagem como dimensões irreduzíveis, indissociáveis e complementares. Não podem, portanto, ser examinadas separadamente, pois o ensinar pressupõe, pelo menos implicitamente, o aprender; e a aprendizagem escolar apóia-se, com maior, ou menor, intensidade, em um conjunto de mediações que abrangem as intervenções docentes, o contato com os colegas e os materiais didáticos.

No entanto, como salienta TIBERGHEN (1998), a diferenciação entre o ensino e a aprendizagem é uma condição necessária para otimizar o ensino que favorece a ocorrência de aprendizagens relevantes. O não-reconhecimento de suas diferenças leva a trabalhos em psicologia cognitiva, que concebem o ensino apenas como campo de aplicação de seus resultados, ou à produção de estratégias de ensino que ignoram a diversidade de tempos e ritmos próprios do ensino e próprios da aprendizagem.

Entendemos o modelo de ensino como uma base teórica que sustenta a formulação de propostas de ensino relevantes para a aprendizagem, ou seja, intervenções didáticas que favorecem a aprendizagem, porque organizadas a partir de suas premissas. Entretanto, como decorrência da natureza dos fenômenos da aprendizagem humana, a psicologia não nos fornece elementos que permitem prever se esta ou aquela intervenção didática resulta na formação deste ou daquele conceito.

De modo análogo aos das leis da termodinâmica, as leis que regulam os processos de aprendizagem constituem postulados restritivos, isto é, permitem afirmar o que *não pode* ocorrer. A nosso ver, a Teoria da Equilibração impõe duas restrições fundamentais aos processos de aprendizagem humana. A primeira consiste em postular a inexistência de acomodação sem assimilação, ou seja, em afirmar que todo

conhecimento, por mais novo que seja em relação aos que o precederam, não é nunca independente deles. Todo conhecimento pressupõe um quadro assimilador, a partir do qual o sujeito interpreta, atua e se transforma. A segunda, imposta pelos processos de aprendizagem humana, funda-se na impossibilidade de se atingir o nível estrutural dos sistemas de compensação – trans-objetal –, partindo-se do nível dos atributos e propriedades dos objetos – intra-objetal –, sem se examinar e explorar uma etapa intermediária em que se desenvolvem as relações e transformações dos elementos em jogo – inter-objetal.

Nesta pesquisa, tivemos a oportunidade de examinar a validade desses dois princípios. Além de identificar a influência marcante das pressuposições, crenças e modos de raciocínio dos sujeitos na construção de conceitos científicos, vimos, ainda, que nenhum dos sujeitos da pesquisa manifestou uma transição direta do nível I para o nível III. Mesmo no caso de Alex, em que a presença do pensamento sistêmico conviveu com lacunas e contradições nas composições entre os conceitos de calor e temperatura, seria incorreto dizer que não foram precedidas por várias coordenações do tipo esquema-esquema, ou seja, pela composição e constatação de regularidades, tais como a generalização de que sistemas a diferentes temperaturas interagem entre si até que atinjam o equilíbrio térmico. Essas observações coincidem com conclusões semelhantes de um estudo realizado por VILLANI & ORQUIZA DE CARVALHO (1997) sobre as representações dos estudantes concernentes às colisões. Segundo os autores, *“os princípios de conservação podem ser assimilados de modo significativo apenas depois da conquista, com certo grau de segurança e estabilidade, de representações fenomenológicas correspondentes”* (p. 93).

Por outro lado, podemos afirmar que as etapas de construção não são lineares, ou seja, não é verdadeiro supor que o sujeito apenas avança em direção às etapas seguintes uma vez tendo esgotado as anteriores. Pelo contrário, o quadro que examinamos nas trajetórias dos estudantes, ao longo do curso, indicam processos dinâmicos, com idas e vindas, hesitações e certezas infundadas, lacunas e contradições. Assim, como VILLANI & ORQUIZA DE CARVALHO (1997, p. 94), entendemos que *“a idéia de 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”* em que se observam *“abundantes situações de assimilações parciais seguidas de seu abandono mais ou menos local”*.

As fases, ou níveis de entendimento, dos estudantes foram consideradas, ao longo desta pesquisa, como um modo de organizar e racionalizar os dados relativos aos processos da aprendizagem escolar, cuja dinâmica é muito mais complexa. Modelamos o real, estabelecemos certas categorias de análise, que são, certamente, simplificadoras, de modo a compreendermos os significados das descobertas dos estudantes e dos obstáculos que se opõem ao seu desenvolvimento, das hesitações e conquistas do pensamento, mas, sobretudo, visando intervir no sentido de favorecer seu progresso em direção às formas mais avançadas do pensamento científico. Para nós, faz-se necessário recorrer a esses procedimentos de modelagem ao se lidar com fenômenos de alta complexidade, como é a aprendizagem escolar. Contudo, devemos fazê-lo conscientes de não estar impondo ao real uma organização rígida que não lhe pertence. A análise dos dados desta pesquisa indica que o estabelecimento de níveis de entendimento acrescenta uma compreensão renovada aos processos de mudança que acompanham a aprendizagem em ciências, sem, com isso, deformar ou desconhecer a multiplicidade de representações e formas de pensamento dos estudantes.

O modelo que propomos estabelece alguns princípios organizadores do ensino que lhe permitem aproximar-se dos processos de aprendizagem. Entre elas, destacamos, em primeiro lugar, a avaliação formativa, reguladora e auto-reguladora da aprendizagem para buscar-se um ajuste constante entre as dimensões do ensino e da aprendizagem que ela visa promover. Em segundo lugar, ressaltamos o tratamento recursivo de alguns conceitos e, principalmente, de alguns obstáculos à aprendizagem, com que se pretende minimizar os problemas decorrentes das diferenças entre os tempos e ritmos de ensino e os da aprendizagem. Uma terceira característica de um ensino que se organiza em função dos processos de aprendizagem reside na organização de seqüências didáticas em que se considera a existência de níveis intermediários de conhecimento. Do ponto de vista do modelo, a novidade consiste no fato de se preservar o caráter de totalidade dos níveis iniciais e intermediários de conhecimento e de se organizarem as seqüências como meio de promover sua progressão a formas mais avançadas de pensamento. Como vimos, esta característica permite um ajuste das metas de aprendizagem à diversidade das possibilidades e interesses dos estudantes. Uma quarta característica, igualmente importante, decorre da adequação dos objetivos do ensino aos obstáculos à aprendizagem, o que remete à construção de situações didáticas variadas, que suscitem uma evolução intelectual possível para os estudantes. Finalmente, uma quinta

característica consiste na “*devolução*” aos alunos das responsabilidades que devem assumir na gestão e condução da própria aprendizagem (BROUSSEAU, 1988). Essa devolução comporta uma negociação dos papéis e responsabilidades. Em vários momentos desta pesquisa, os estudantes resistiram às tentativas de se imputar a eles maiores responsabilidades na interpretação de fenômenos ou na produção de sínteses em que se destacassem aspectos de maior generalidade. O conceito de devolução didática impõe, conseqüentemente, a necessidade de tratamentos diferenciados aos alunos, buscando-se um ajuste ótimo das intervenções didáticas, para favorecer a construção de novos significados.

O ajuste entre o ensino e a aprendizagem, porém, não é simples nem, tampouco se submete a regras ou padrões. O trabalho pedagógico realiza-se na tensão entre duas exigências antagônicas: de um lado, o respeito aos saberes dos estudantes e seus processos de aprendizagem; de outro, a possibilidade, ao final de uma unidade de ensino, de aquisição de um corpo de conhecimentos socializados, provisoriamente admitido como verdadeiro pelas comunidades científicas. Esse duplo compromisso aponta, segundo ASTOLFI & PETERFALVI (1993) para uma tensão constitutiva entre, por um lado, as atitudes de flexibilidade e aceitação em relação às idéias dos estudantes e, por outro, a manutenção de uma direção ao processo de construção, o que exige certa dose de rigidez e discurso de autoridade. O ajuste entre esses dois compromissos é realizado localmente e, com freqüência, envolve tomadas de decisão de urgência, por parte dos professores, nas interações com os estudantes. De maneira mais global, essa tensão evidencia que “*o problema consiste em encontrar um ponto didático ótimo: suficiente para dar início a uma dinâmica de mudanças, sem ser excessiva de modo a não se tornar dissuasiva*” (ASTOLFI & PETERFALVI, 1993, p. 138).

Outra tensão característica dos processos de ensino e de aprendizagem que se deve levar em conta resulta na gestão coletiva e individual das relações em sala de aula. A situação didática é essencialmente coletiva, enquanto a aprendizagem constitui-se na tensão dialética entre o individual e o social ou, ainda, na constituição das subjetividades, no interior de um funcionamento intersubjetivo. Um dos problemas da gestão das atividades didáticas decorre do conflito entre as características coletivas da sala de aula e a necessidade de se compor uma *pedagogia diferenciada*, que atenda às diferentes necessidades, interesses e habilidades dos estudantes. Por exemplo, ao conduzir uma determinada atividade em classe, compete à professora selecionar

informações preliminares, que serão apresentadas aos alunos, a partir das quais novas idéias e relações vão sendo elaboradas, de modo mais autônomo. Entretanto tal análise não permite prever formas de intervenções adequadas a todos, de modo indistinto. Ao contrário, enquanto intervém nos grupos, ela ajusta sua ação à ação dos alunos e pressupõe aquilo que é necessário informar para que cada um possa avançar, o que possibilita intervenções bastante diferenciadas, conforme as avaliações que faz do nível de compreensão do grupo e de cada aluno em relação à atividade e aos conceitos envolvidos.

3. Modelo de Ensino e Desenvolvimento Profissional de Educadores

A consciência crescente da complexidade do fazer pedagógico e das múltiplas dimensões e saberes envolvidos na gestão de situações de ensino na sala de aula tem levado à construção de modelos de formação de professores referenciados em reflexões da prática docente. No interior desses movimentos de inovação, vários autores têm defendido a condução de programas de formação inicial e continuada de professores com base no planejamento e desenvolvimento de seqüências didáticas (VILLANI, 1991; VILLANI & PACCA, 1992, 1997; FILOCRE, GOMES & BORGES, 1996; TABACHNICK & ZEICHNER, 1999). Uma das vantagens desse modelo de formação decorre da ampla gama de conhecimentos profissionais envolvidos na tarefa de planejar cursos e produzir materiais didáticos inovadores e, sobretudo, da necessidade de se coordenarem, entre si, conhecimentos científicos específicos e conhecimentos educacionais, de caráter mais geral. Ao aproximarem a prática docente de uma ação investigativa, essas estratégias de formação têm permitido introduzir um novo modo de conceber o ensino, estimulando os professores participantes a exercitá-la na prática e a refletir sobre ela, o que origina uma tomada de consciência do alcance das mudanças que estão sendo propostas. Além disso, a natureza intencional do planejamento do ensino permite tornar explícitos os pontos essenciais que caracterizam uma determinada visão de ensino, o que remete à reflexão sobre sua pertinência, adequação e viabilidade prática.

Nesse sentido, parecem-nos promissoras as possibilidades de se utilizar o modelo de ensino como referencial teórico para se sustentar esse tipo de formação em serviço, na medida em que ele estabelece alguns pontos básicos a serem observados na proposição de inovações didáticas e instrumentos de análise para o estabelecimento de

níveis de complexidade dos conteúdos do ensino e para a regulação dos processos de aprendizagem.

O entendimento do modelo de ensino implica uma análise dos processos de construção de conhecimentos científicos em sala de aula, que se encontra, infelizmente, muito além dos engendrados pela formação atual de professores. Não se trata apenas de apontar um elenco de concepções alternativas dos estudantes, mas de precisar os obstáculos, compreendê-los como parte constitutiva de uma rede de relações e significados e examinar as condições para sua superação. Do ponto de vista científico, importa superar a forte barreira de se considerarem as teorias científicas de modo fechado e acabado, na expectativa de compor uma progressão no entendimento dos modelos. Finalmente, quanto às intervenções didáticas, abarca um conjunto de competências, que vão desde a escuta atenta aos modos de raciocínio dos estudantes à capacidade de envolvê-los e motivá-los pessoalmente.

Algumas iniciativas que temos tomado nessa direção, no curso de especialização em ensino de ciências do CECIMIG/FaE-UFMG, alertam alguns cuidados preliminares, sob pena de se reduzirem as reflexões do modelo de ensino a rótulos impostos a objetivos educacionais. Alguns trabalhos que orientamos deram origem à proposição de abordagens didáticas inovadoras, tendo sido avaliados positivamente, pelos professores participantes e por nós, como instrumentos de formação. Com relação a alguns professores, entretanto, tivemos a impressão de que as exigências do modelo estavam além de suas possibilidades naquele momento e de que não compreendiam plenamente o que estava sendo proposto. De qualquer modo, o acompanhamento de equipes de professores trabalhando a partir das proposições do modelo, tendo o desenvolvimento profissional como objeto de pesquisa, pode precisar o sentido dessas impressões iniciais, formular novas hipóteses e examiná-las a partir de experiências concretas de formação continuada.

Podemos dizer, com DROUIN (1993), que os modelos de ensino funcionam como utopias pedagógicas, na medida em que propõem algo que está longe de ser consumado, um saber que não se encontra produzido, competências que apenas vislumbramos, mas que não dominamos completamente. O papel das utopias é o de construir ideários que mobilizem a ação e as transformações desejadas e anunciadas coletivamente. No entanto, elas alimentam certa frustração advinda de desejos não-realizados, de incapacidades projetadas, equivocadamente, sobre atos pessoais.

No cenário de incertezas que caracterizam todos os momentos de mudança, os sistemas educacionais exigem dos professores que realizem utopias, sem que lhes sejam dadas condições objetivas e subjetivas para tanto. As condições de trabalho são as mesmas e a estrutura de organização do trabalho pedagógico impede que se aprofundem as mudanças. Por outro lado, exige-se algo que não sabemos, ainda, exatamente como fazer, dispositivos que apenas começamos a dominar.

Procuramos dar a este trabalho o sentido respeitoso de quem compartilha as incertezas e de quem aprende fazendo mudanças, mesmo que sejam muito menores do que os nossos desejos e os desafios colocados à educação nos tempos da pós-modernidade.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, JR. O (1995). *Mudança conceitual em sala de aula: o ensino de ciências numa perspectiva construtivista*. CEFET-MG (Dissertação, Mestrado).
- AGUIAR JR., O. (1998). O papel do construtivismo na pesquisa em ensino de ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 3, n. 2, p. 107-120. Publicação Eletrônica: www.if.ufrgs.br/public/ensino.
- AGUIAR JR., O. (1999a). Calor e temperatura no Ensino Fundamental: o ensino e a aprendizagem numa perspectiva construtivista. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 1, p. 1-15. Publicação Eletrônica: www.if.ufrgs.br/public/ensino.
- AGUIAR JR., O. (1999b). As três formas da equilibração e a mudança conceitual: análise do material didático de um curso de eletricidade básica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 72-91.
- AGUIAR JR., O., FILOCRE, J (1999). 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.
- ANDERSSON, B. (1986). The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science. *European Journal of Science Education*, v. 8, n. 2, p. 155-171.
- ARNOLD, M., MILLAR, R. (1994). Children's and lay adults' views about thermal equilibrium. *International Journal of Science Education*, v. 16, n. 4, p. 405-419.
- ARNOLD, M., MILLAR, R. (1996). Learning the scientific 'story': a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, v. 80, n.3, p. 249-281.
- ARONS, A. (1983). Students patterns of thinking and reasoning, Part I. *The Physics Teacher*, n. 22, p. 576-581.
- ASTOLFI, J.P., DEVELAY, M. (1991). *A didática das ciências*. 2. ed. Trad. Magda Fonseca. Campinas: Papirus.
- ASTOLFI, J.P., PETERFALVI, B.(1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *ASTER*, n. 16, p. 103-141.
- BACHELARD, G. (1972). Conhecimento comum e conhecimento científico. *Tempo Brasileiro*, v. 28, p. 27-46.
- BACHELARD, G. (1984). *A filosofia do não*. São Paulo: Abril Cultural. (Edição original publicada em 1940)
- BACHELARD, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela S. Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto. (Edição original publicada em 1938)
- BAKHTIN, M. (1997). *Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem*. Trad. Michel Lahud e Yara F. Vieira. 8ª ed. São Paulo: Hucitec. (Edição original publicada em 1929)

- BARAK, J., GORODESTKY, M., CHIPMAN, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 1, p. 21-30.
- BAZAN, M. Modèles pédagogiques et recherche en didactique. *ASTER*, v. 16, p. 3-7.
- BÉCU-ROBINAULT, K., TIBERGHIE, A. (1998). Integrating experiments into the teaching of energy. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 1, p. 99-114.
- BENLLOCH, M. (1997). *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Visor: Madrid.
- BENLLOCH, M., POZO, J.I. (1996). What changes in conceptual change? From ideas to theories. In: WELFORD, G., OSBORNE, J., SCOTT, P. (Eds.) *Research in science education in Europe: current issues and themes*. London: Falmer Press, p. 200-211.
- BEN-ZVI, R. (1999). Non-science oriented students and the second law of thermodynamics. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 12, p. 1251-1267.
- BLISS, J. (1995). Piaget and after: the case of learning science. *Studies in Science Education*, v. 25, p. 139-172.
- BORGES, A.T., GILBERT, J. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, v. 21, n. 1, p. 95-117.
- BROSNAN, T. (1990). Categorising macro and micro explanations of material change. In: LIJNSE, P., LICHT, P., DE VOS, W., WAARLO, A. (Eds.) *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. Utrecht: CD-β Press, p. 198-211.
- BROUSSEAU, G. (1988). Le contrat didactique: le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v. 9, n. 3, p. 309-336.
- BROWN, D., CLEMENT, J. (1992). Classroom teaching experiments in mechanics. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p. 380-397.
- BRUNER, J. (1997). *Realidade mental, mundos possíveis*. Trad. Marcos Domingues. Porto Alegre: Artes Médicas.
- CAFAGNE, A. (1996). *Concepções em termodinâmica: o senso comum e o conhecimento científico*. São Paulo: Faculdade de Educação, USP. (Tese, Doutorado)
- CAMPBELL, B., LAZOMBY, J., MILLAR, R., NICOLSON, P., RAMSDEN, J., WADDINGTON, D. (1994). The Salters' approach - a case study of the process of large scale curriculum development. *Science Education*, v. 78, n. 5, p. 415-447.
- CARAVITA, S., HALLDÉN, O. (1994). Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, v. 4, p. 89-111.
- CÁRDENAS, M., LOZANO, R. (1996). Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 14, n. 3, p. 343-349.
- CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MIT Press.

- CAREY, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, v. 41, n. 10, p. 1123-1130.
- CAREY, S. (1991). Knowledge acquisition: enrichment or conceptual change? In: CAREY, S., GELMAN, R. (Eds). *The epigenesis of mind: essay on biology and cognition*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, p. 257-291.
- CASTORINA, J.A. (1995). O debate Piaget-Vygotsky: a busca de um critério para sua avaliação. In: CASTORINA, J., FERREIRO, E., LERNER, D., OLIVEIRA, M. *Piaget – Vygotsky: novas contribuições para o debate*. São Paulo: Ática.
- CASTORINA, J.A. (1998). Piaget e Vygotsky: novos argumentos para uma controvérsia. *Caderno de Pesquisa*, n.105, p. 160-183.
- CASTRO, R. S. (1993). *História e epistemologia da ciência: investigando suas contribuições num curso de física de segundo grau*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Dissertação, Mestrado)
- CENTRO PEDAGÓGICO DA UFMG (1996). A organização da prática pedagógica da escola de 1º grau do Centro Pedagógico. (Publicação interna, mimeogr.)
- CERUTI, M. (1995). O mito da onisciência e o olhar do observador. In: WATZLAWICK, P., KRIEG, P. (Eds.) *O olhar do observador*. Trad. Helga Madjerey. Campinas: Editorial Psy II.
- CHI, M.T., SLOTTA, J., DE LEEUW, N. (1994). From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, v. 4, p. 27-43.
- CLANCEY, W.J. (1995). Practice cannot be reduced to theory: knowledge, representations and change in the workplace. In: BAGNARA, S. ZUCCERMAGLIO, C. & STUCKY, S. (Eds.). *Organizational learning and technological change*. Berlin: Springer. Paper from the NATO Workshop, Siena, Italy, p. 16-46, sept. 1992.
- CLEMENT, J., BROWN, D., ZIETSMAN, A (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding “anchoring conceptions” for grounding instruction on students’ intuitions. *International Journal of Science Education*, v. 11, n.5, p. 554-565.
- COBB, P. (1988). Onde está a mente? uma coordenação das abordagens sociocultural e cognitivo-construtivista. In: FOSNOT, C.T. (Ed.) *Construtivismo: teoria, perspectivas e prática pedagógica*. Trad. Sandra Costa. Porto Alegre: Artes Médicas, p. 51-69.
- COLL, C. (1997). Piaget, o construtivismo e a educação escolar: onde está o fio condutor? In: *Substratum Artes Médicas*, v. 1, n. 1 (Cem Anos com Piaget). Porto Alegre: Artes Médicas.
- COLL, C. (1998). Construtivismo e educação escolar: nem sempre falamos da mesma coisa e nem sempre o fazemos da mesma perspectiva epistemológica. In: RODRIGO, M., ARNAY, J. (Eds.). *Conhecimento cotidiano, escolar e científico: representação e mudança*. Trad. Claudia Schilling. São Paulo: Ática, p. 135-168.
- DE VECCHI, G. (1994). Elaborer des ‘niveaux de formulation’ en prenant en compte les conceptions des apprenants. In: GIORDAN, A., GIRAULT, Y., CLÉMENT, P. (Eds.). *Conceptions et connaissances*. Paris: Peter Lang, p. 251-264.

- DÉSAUTELS, J., LAROCHELLE, M. (1990). A constructivist pedagogical strategy: the epistemological disturbance (experiment and preliminary results). In: Herget, D. (Ed.). *More history and philosophy of science in science teaching*. Proceedings of the First International Conference of the History and Philosophy of Science in Science Teaching. Tallahassee: Florida State University, p. 236-257.
- DI SESSA, A. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, v. 20, n.10, p. 1155-1191.
- DOLL Jr., W. (1995). *Currículo: uma perspectiva pós-moderna*. Trad. Maria Adriana V. Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas.
- DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHEN, A. (1985). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P., WOOD-ROBINSON, V. (1994a). *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. London: Routledge.
- DRIVER, R., SQUIRES, A., RUSHWORTH, P., WOOD-ROBINSON, V. (1994b). *Making sense of secondary science: support materials for teachers*. London: Routledge.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E., SCOTT, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, v. 23, n. 7, p. 5-12.
- DROUIN, A.M. (1993). L'utopie créative ou la pensée moldèle. *ASTER*, v. 16, p. 201-219.
- DUIT, R., HAUESSLER, P. (1994). Learning and teaching energy. In: FENSHAM, P., GUNSTONE, R., WHITE, R. (Eds.). *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning*. London: Falmer Press, p. 185-200.
- DUIT, R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity – remarks on the article by R. U. Sexl. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 3, p. 291-301.
- DUIT, R. (1984). Learning the energy concept in school – empirical results from the Philippines and West Germany. *Physical Education*, v. 19, n. 2, p. 59-66.
- DUIT, R. (1993). Research on students' conceptions - developments and trends. In: NOVAK, J. (Ed.). *Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, New York: Cornell University.
- DUSCHL, R. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 13, n. 1, p. 30-14.
- DUSCHL, R., GITOMER, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 28, n. 9, p. 839-858.
- DYKSTRA JR., D., BOYLE, F., MONARCH, I. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, v. 76, n. 6, p. 615-652.
- EDWARDS, D., MERCER, N. (1987). *Common knowledge: the development of understanding in the classroom*. London: Routledge.

- EIJKELHOF, H.M.C., KORTLAND, J. (1988). Broadening the aims of physics education – experiences in the PLON-project. In P. FENSHAM (Ed.) *Development and dilemmas in science education*. Barcombe, UK: The Falmer Press.
- ERICKSON, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, v. 63, n. 2, p. 221-230.
- ERICKSON, G. (1985). Revisión de las ideas de los alumnos. In: DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIE, A. (Eds.). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, p. 94-110.
- ERICKSON, G., TIBERGHIE, A. (1985). Calor e temperatura. In: DRIVER, R., GUESNE, E., TIBERGHIE, A. (Eds.). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, p. 89-93.
- FENSHAM, P., GUNSTONE, R., WHITE, R. (1994). *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning*. London: The Palmer Press.
- FIGUEIREDO, A., PIETROCOLA, M. (1997). *Calor e temperatura*. São Paulo: FTD.
- FILOCRE, J. (1999). O Construtivismo na educação escolar: do foco no ensino à ênfase na aprendizagem. Belo Horizonte: CECIMIG/FaE-UFMG. (Mimeog.)
- FILOCRE, J., AGUIAR JR., O. (1996). Referenciais teóricos para o tratamento da mudança conceitual no contexto do ensino de ciências. Belo Horizonte: CECIMIG/FaE-UFMG, (Mimeogr.)
- FILOCRE, J., GOMES, A.E., BORGES, O.N. (1996). Modelos de capacitação de professores implementados pelo CECIMIG/UFMG. In: V ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Águas de Lindóia. *Anais do V EPEF*. Belo Horizonte, CECIMIG/FaE-UFMG, p. 296-310.
- FISCHER, H., AUFSCHNAITER, S. (1992). The increase of complexity as an order generating principle of learning processes. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p. 225-239.
- FOSNOT, C. (1998). Construtivismo: uma teoria psicológica da aprendizagem. In: FOSNOT, C. (Ed.). *Construtivismo: teorias, perspectivas e prática pedagógica*. Trad. Sandra Costa. Porto Alegre: Artes Médicas, p. 25-50.
- GAUTHIER, C., MARTINEAU, S., DESBIENS, J.F., MALO, A., SIMARD, D. (1998). *Por uma teoria da pedagogia: pesquisas contemporâneas sobre saber docente*. Trad. Francisco P. Lima. Ijuí: Editora Unijuí.
- GAYFORD, C.G. (1986). Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education*, v. 8, n. 4, p. 443-450.
- GELL-MANN, M. (1996). *O quark e o jaguar: aventuras no simples e no complexo*. Trad. Alexandre Tort. Rio de Janeiro: Rocco.
- GIL PÉREZ, D. (1989). La globalización de las ciencias: ¿Necesidad o peligro? *Cuadernos de Pedagogía*, n. 72, p. 42-44.
- GROTZER, T., SUBDURY, M. (2000). Moving beyond underlying linear causal models of electrical circuits. *Paper presented at the 2000 NARST Conference*, New Orleans. Available from Internet: <http://pzweb.harvard.edu/Research/UnderCon.htm>.

- GUESNE, E., TIBERGHIE, A., DELACOTE, G. (1978). Methodes et resultats cocnernant l'analyse des conceptions des élèves dans differents domaines de la physique. Deux exemples: les notions de chaleur et lumière. *Revue Française de Pédagogie*, n. 45, p. 25-32.
- GUIMARÃES, L. A., FONTE BOA, M. (1997). *Termologia e óptica*. São Paulo: Harbra.
- GUTIERREZ, R., OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative misconceptions. *International Journal of Science Education*, v. 14, n. 2, p. 201-220.
- HALBWACHS, F. (1977). Historia de la explicación en física. In: PIAGET, J. (Org.) *La Explicación en las Ciencias*. Barcelona: Martinez Roca.
- HALBWACHS, F. (1978). Structure de la matière enseignée et developpement conceptuel. *Revue Française de Pédagogie*, n. 45, p. 33-36.
- HALBWACHS, F. (1984). 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.
- HENRIQUES, K.F. (1996). *O pensamento físico e o pensamento do senso comum: a energia no 2º grau*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Dissertação, Mestrado).
- HEWSON, P. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, v. 3, n. 4, p. 383-396.
- HEWSON, P. (1985). Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 2, p. 163-172.
- HEWSON, P. (1996). Teaching for conceptual change. In: TREAGUST, D., DUIT, R., FRASER, B. (Eds.). *Improving teaching and learning in science and mathematics*. New York: Teachers College Press, p. 131-140.
- HEWSON, P., THORLEY, R. (1989). The conditions fo conceptual change in classroom. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 541-553.
- HEWSON, P., HEWSON, M. (1992). The status of students' conceptions. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.) *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p. 59-73.
- HOSOUME, Y., KAWAMURA, M.R., MENEZES, L.C. (1994). *Objetos e objetivos no aprendizado da Física*. São Paulo: Publicações do Instituto de Física da USP.
- INHELDER, B., PIAGET, J. (1976). *Da lógica da criança à lógica do adolescente*. Trad. Dante M. Leite. São Paulo: Pioneira. (Edição original publicada em 1955)
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., GAYOSO, I., BARRAL, F. (1991). Pero, ¿existe el Área de Ciencias? *Cuadernos de Pedagogía*, n. 188, p. 64-66.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento com el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciências*, v. 16, n. 2, p. 203-216.
- KARMILOFF-SMITH, A., INHELDER, B. (1975). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, v. 3, n. 3, p. 195-212.
- KESIDOU, S., DUIT, R. (1993). Students' conceptions of the Second Law of Thermodynamics – an interpretative study. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 30, n. 1, p. 85-106.

- KUHN, T.S (1975). *A estrutura das revoluções científicas*. Trad. Beatriz V. Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva. (Edição original publicada em 1962 e ampliada em 1969)
- LABURU, C. E., SILVA, D., CARVALHO, A.M. (2000). Analisando uma situação de aula de termologia com o auxílio do vídeo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, p. 100-105.
- LAJONQUIÈRE, L. (1992). Acerca da instrumentação prática do construtivismo: a (anti)pedagogia piagetiana, ciência ou arte? *Caderno de Pesquisa*, n. 81, p. 61-66.
- LAKATOS, I. (1979). O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LAKATOS, I., MUSGRAVE, A. (Eds.). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. Trad. Otávio M. Cajado. São Paulo: Edusp.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: the aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley: University of California Press.
- LAZONBY, J., NICOLSON, P., WADDINGTON, D. (1992). Teaching and learning the Salters' way. *Journal of Chemical Education*, v. 69, p. 899-902.
- LEACH, J., DRIVER, R., MILLAR, R., SCOTT, P. (1997). A study of progression in learning about "the nature of science": issue of conceptualisation and methodology. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 2, p. 147-166.
- LEHRMAN, R. (1973). Energy is not the ability to do work. *The Physics Teacher*, v. 12, p. 15-18.
- LEMEIGMAN, G., WEIL-BARAIS, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, v. 16, n. 1, p. 99-120.
- LERNER, D.(1995). O ensino e o aprendizado escolar: argumentos contra uma falsa oposição. In: CASTORINA, J., FERREIRO, E., LERNER, D., OLIVEIRA, M. *Piaget – Vygotsky: novas contribuições para o debate*. São Paulo: Ática.
- LEWIS, E., LINN, M. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults and experts: implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 31, n. 6, p. 657-677.
- LIJNSE, P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, v. 74, n. 5, p. 571-583.
- LIJNSE, P. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based "didactical structure" of science. *Science Education*, v. 79, n. 2, p. 189-199.
- LIJNSE, P., KORTLAND, K., EIJKELHOF, H., VAN GENDEREN, D., HOOYMAYERS, H. (1990). A thematic physics curriculum: a balance between contradictory curriculum forces. *Science Education*, v. 74, n. 1, p. 95-103.
- LIMA, M. E., AGUIAR Jr., O. (2000). Ciências: física e química no ensino fundamental. *Presença Pedagógica*, v. 6, n. 31: 39-49.
- LIMA, M. E., AGUIAR Jr., O., BRAGA, S. (1997). 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: I ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS. *Atas do I ENPEC*. Porto Alegre: IF/UFRGS, p. 357-365.

- LINDER, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, v. 77, n. 3, p. 293-300.
- LINN, M., SONGER, N. (1991). Teaching thermodynamics to middle school students: what are appropriate cognitive demands? *Journal of Research in Science Teaching*, v. 28, n. 10, p. 885-918.
- MACEDO DE BURGHI, B., SUSSAN, G. (1985). Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 3, p. 83-90.
- MACEDO, L. (1979). Os processos da equilibração majorante. *Ciência e Cultura*, v. 31, n. 10, p. 1125-1128.
- MACEDO, L. (1994). *Ensaio construtivistas*. São Paulo: Casa do Psicólogo.
- MAK, Y., YOUNG, K. (1987). Misconceptions in the teaching of heat. *The School Science Review*, v. 68, n. 244, p. 464-470.
- MARÍN, N., JIMÉNEZ GÓMEZ, E., BENARROCH, A. (1997). Delimitación de 'lo que el alumno sabe' a partir de objetivos y modelos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 15, n. 2, p. 215-224.
- MARTINAND, J.L. (1995). La référence et l'obstacle. *Itinéraires de Recherche*, n. 34, p. 7-22.
- MARTINS, R. (1984). Mayer e a conservação da energia. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 6, p. 63-84.
- MATTHEWS, M. (1992). Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. *Research in Science Education*, v. 22, p. 299-307.
- MATURANA, H. (1998). *Emoções e linguagem na educação e na política*. Trad. José F.C. Fortes. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- MCLLDOWIE, E. (1995). Energy transfer – where did we go wrong? *Physics Education*, v. 30, n. 4, p. 228-230.
- MILLAR, R. (1997). Comments on: Experimental facts and common ways of reasoning in thermodynamics, by Laurence Viennot. In: TIBERGHIE, A., JOSSEM, L., BAROJAS, J. (Eds.). *Connecting research in physics education with teacher education*. London: ICPE. Available from Internet: www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/
- MILLAR, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 5, p. 587-590.
- MINAS GERAIS. SECRETARIA DO ESTADO DA EDUCAÇÃO (1999). *Uma proposta de reformulação do currículo de ciências para o 2º ciclo do ensino fundamental*. (Publicação interna)
- MORENO, J., GONZÁLEZ, E., MORENO, A. (1987). Considerações sobre la Enseñanza del Calor en 2º de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 5, n. 1, p. 81-83.
- MORIN, E. (1990). *Introdução ao pensamento complexo*. Lisboa: Instituto Piaget.
- MORTIMER, E. (1999). Microgenetic analysis and the dynamic of explanations in science classroom. *Paper presented at the II Conference of the European Science Education Research Association*, Kiel. (In press)

- MORTIMER, E. (1994). *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado)
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v. 4, p. 267-285.
- MORTIMER, E. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências*. Belo Horizonte: Editora UFMG.
- MORTIMER, E., MACHADO, A. (1997). Múltiplos olhares sobre um episódio de ensino: “porque o gelo flutua na água?”. In: *Linguagem, cultura e cognição: reflexões para o ensino de ciências. Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Belo Horizonte: Faculdade de Educação da UFMG, p. 139-162.
- NERSESSIAN, N. (1987). A cognitive-historical approach to meaning in scientific theories. In: NERSESSIAN, N. (Ed.). *The process of science*, Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers, p. 161-177.
- NERSESSIAN, N. (1992). Constructing and instructing: the role of ‘abstraction techniques’ in creating and learning physics. In: DUSCHL, R., HAMILTON, R. (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press, p. 48-68.
- NEWMAN, D., GRIFFIN, P., COLE, M. (1989). *The construction zone: working for cognitive change in school*. Cambridge: Cambridge University Press.
- NIEDDERER, H., SCHECKER, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p. 74-98.
- OGBORN, J. (1988). A map of science. *Personal submission to the National Curriculum Working Group on Science Education*. University of London, unpublished paper.
- OGBORN, J. (1994). A vulgar science curriculum. In: JENNISON, B., OGBORN, J. (Eds.). *Wonder and delight. essays in science education en honour of the life and work of Eric Rogers 1902-1990*. London: Institute of Physics Publishing.
- OGBORN, J. (1997). Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, v. 6, p. 121-133.
- OLIVEIRA, M. K. (1999). Três questões sobre desenvolvimento conceitual. In: OLIVEIRA, M.K., OLIVEIRA, M.B. (Eds.). *Investigações cognitivas: conceitos, linguagem e cultura*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- ORQUIZA DE CARVLHO, L. (1998). O ensino estruturado em idéias chaves. In: VI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Florianópolis. *Anais do VI EPEF*. Florianópolis: UFSC, p. 1-17 (versão eletrônica).
- OSBORNE, J. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, v. 80, n.1, p. 53-82.
- PACCA, J.L., SARAIVA, J.F. (1989). Causalidad y operaciones en la interpretación de las concepciones espontáneas. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, n.3, p. 266-270.
- PAIVA, M.H. (2000). *Inovações curriculares no Ensino Médio: tendências, realidade e condições para o sucesso*. Belo Horizonte: Faculdade de Educação da UFMG (Dissertação, Mestrado).

- PARRA, N. (s/d). Por que modelos de ensino? São Paulo: Faculdade de Educação, Departamento de Metodologia de Ensino e Educação Comparada, USP. (Mimeogr.)
- PERKINS, D., GROTZER, T. (2000). Models and moves: focusing on dimensions of causal complexity to achieve deeper scientific understanding. *Paper presented at the American Educational Research Association Annual Conference, New Orleans*. Available from internet: <http://pzweb.harvard.edu/Research/UnderCon.htm>.
- PERRENOUD, P. (1999a). *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas*. Trad. Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas.
- PERRENOUD, P. (1999b). Profissionalização do professor e desenvolvimento de ciclos de aprendizagem. *Cadernos de Pesquisa*, n. 108, p. 7-26.
- PERRENOUD, P. (2000a). *Pedagogia diferenciada: das intenções à ação*. Trad. Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas.
- PERRENOUD, P. (2000b). *Dez novas competências para ensinar*. Trad. Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas.
- PIAGET, J. (1973). *Estudos sociológicos*. Trad. Reginaldo di Piero. Rio de Janeiro: Forense. (Original publicado em 1965)
- PIAGET, J. (1976). *A equilibração das estruturas cognitivas*. Trad. Marion M. Penna. Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- PIAGET, J. (1978). *Investigaciones sobre la contradicción*. Madrid: Siglo XXI.
- PIAGET, J. (1979). *O estruturalismo*. 3. ed. Trad. Moacir Renato de Amorim. Rio de Janeiro: Difel. (original publicado em 1968).
- PIAGET, J. (1985). *O possível e o necessário – a evolução dos possíveis na criança*. Trad. Bernardina M. Albuquerque. Porto Alegre: Artes Médicas. v. 1.
- PIAGET, J. (1995). *Abstração reflexionante – relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais*. Trad. Fernando Becker e Petronilha B. Silva. Porto Alegre: Artes Médicas. (Original publicado em 1977)
- PIAGET, J., GARCIA, R. (1973). *Las explicaciones causales*. Tradução Elena Póliza. Barcelona, Barral.
- PIAGET, J., GARCIA R. (1984). *Psicogênese e história de la ciencia*. 2. ed. México: Siglo Veintiuno Editores.
- PINTRICH, P., MARX, R., BOYLE, R. (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.
- PLANCK, M. (1945). *Treatise on thermodynamics*. 3. ed. New York: Dover. (Translated from the 7th German edition).
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., HERTZOG, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, v. 66, n. 2, p. 211-227.
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

- ROSA, M.I., SCHNETZLER, R. (1998). Sobre a importância do conceito de transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*, n. 8, p. 31-35.
- ROWELL, J., DAWSON, C. (1985). Equilibration, conflict and instruction: a new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, v. 7, n. 3, p. 331-334.
- ROZIER, S., VIENNOT, L. (1991). Students' Reasonings in Thermodynamics. *International Journal of Science Education*, v. 13, n. 2, p. 159-170.
- SACRISTAN, G. (1998). Plano do currículo, plano do ensino: o papel dos professores/as. In: SACRISTÁN, G., PÉREZ GÓMEZ, A. *Compreender e Transformar o Ensino*. 4 ed. Trad. Ernani da Fonseca Rosa. Porto Alegre: Artes Médicas.
- SANTOS, M.E. (1991). *Mudança conceptual na sala de aula: um desafio pedagógico*. Lisboa: Livros Horizonte.
- SARAIVA, J.F. (1991). *Piaget e o ensino de ciências: elementos para uma pedagogia construtivista*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado).
- SCHLICHTING, H.J. (1979). Energy and energy waste: a topic for science education. *European Journal of Science Education*, v. 1, n. 2, p. 157-168.
- SCHWEDES, H., SCHMIDT, D. (1992). Conceptual change: a case study and theoretical comments. In: DUIT, R., GOLDBERG, F., NIEDDERER, H. (Eds.). *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies*. Kiel: IPN, p. 188-202.
- SCIARRETTA, M.R., STILLI, R., VICENTINI MISSONI, M. (1990). On the thermal properties of materials: common-sense knowledge of Italian students and teachers. *International Journal of Science Education*, v. 12, n. 4, p. 369-379.
- SILVA, D., FERNANDEZ NETO, V., CARVALHO, A.M. (1998). Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. In: NARDI, R. (Org.) *Questões atuais no ensino de ciências*. São Paulo: Escrituras, p. 61-75.
- SILVA, D. (1995). *Estudo das trajetórias cognitivas de alunos na diferenciação dos conceitos de calor e temperatura*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado).
- SOLOMON, J. (1983a). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, v. 5, n. 1, p. 49-59.
- SOLOMON, J. (1983b). Messy, contradictory and obstinately persistent: a study of children's out-of-school ideas about energy. *The School Science Review*, v. 65, n. 231, p. 225-230.
- SOLOMON, J. (1992). *Getting to know about energy in school and society*. London: The Falmer Press.
- STRIKE, K., POSNER, G. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In: DUSCHL, R., HAMILTON, R. (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*, Albany: State University of New York Press, p. 147-176.
- SUMMERS, M. (1983). Teaching heat – an analysis of misconception. *School Science Review*, v. 64, p. 670-676.

- TABACHNICK, R., ZEICHNER, K. (1999). Idea and action: action research and the development of conceptual change teaching of science. *Science Education*, v. 83, n. 3, p. 309-322.
- TEIXEIRA, O. (1992). *Desenvolvimento do conceito de calor e temperatura: a mudança conceitual e o ensino construtivista*. São Paulo: Faculdade de Educação da USP. (Tese, Doutorado).
- TEIXEIRA, O., CARVALHO, A.M. (1998). O ensino de calor e temperatura. In: NARDI, R. (Org.). *Pesquisas em ensino de física*. São Paulo: Escrituras, p. 47-60.
- THOMAZ, M., MALAQUIAS, I., VALENTE, M., ANTUNES, M. (1995). An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Physics Education*, v. 30, n. 1, p. 19-26.
- THORLEY, R., WOODS, R. (1997). Case studies of students' learning as action research on conceptual change teaching. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 2, p. 229-245.
- TIBERGHIE, A. (1985). El desarrollo de las ideas mediante la enseñanza. In: DRIVER, R. GUESNE, E., TIBERGHIE, A. *Ideas Científicas en la Infancia y la Adolescencia*. Madrid: Morata, p. 111-136.
- TIBERGHIE, A. (1998). Analysis of teaching and learning: how differentiating and relating them. In: MEHEUT, M., REBMANN, G. *Theory, methodology and results of research in science education*, 4th European Science Education Summerschool: Marly de Roi: ESERA, p. 32-45.
- TRUMPER, R. (1990). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept – part one. *International Journal of Science Education*, v. 12, p. 343-354.
- TRUMPER, R. (1991). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept – part two. *International Journal of Science Education*, v. 13, p. 1-10.
- VAN ROON, P., VAN SPRANG, H., VERDONK, A. (1994). “Work” and “heat”: on a road towards thermodynamics. *International Journal of Science Education*, v. 16, n. 2, 132-144.
- VAZQUEZ DIAZ, J. (1987). Alguns aspectos a considerar en la didactica del calor. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 5, n. 3, p. 235-238.
- VEIGA, M., PEREIRA, D., MASKILL, R. (1989). Teachers' language and pupils' ideas in science lessons: can teachers avoid reinforcing wrong ideas? *International Journal of Science Education*, v. 11, n. 4, p. 465-479.
- VERGNAUD, G., HALBWACHS, F., ROUCHIER, A. (1978). Structure de la matiere enseignee, histoire des sciences et developpement conceptuel chez l'eleve. *Revue Française de Pédagogie*, n. 45, p. 7-15.
- VIENNOT, L. (1997). Experimental facts and ways of reasoning in thermodynamics: learners' common approach. In: TIBERGHIE, A. JOSSEM, L., BAROJAS, J. (Eds.). *Connecting research in physics education with teacher education*. London: ICPE. Available from Internet: www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/

- VIENNOT, L., CHAUVET, F. (1997) Two dimensions to characterise research-based teaching strategies: examples in elementary optics. *International Journal of Science Education*, v. 19, n. 10, p. 1159-1168.
- VILLANI, A. (1991). Planejamento escolar: um instrumento de atualização dos professores de ciências. *Revista de Ensino de Física*, v. 13, p. 162-177.
- VILLANI, A. (1992). Conceptual change in science and science education. *Science Education*, v. 76, n. 2, p. 223-237.
- VILLANI, A., PACCA, J.L. (1992). Teoria e prática didática na atualização de professores de física. *Revista de Ensino de Física*, v. 14, n. 2, p. 113-119.
- VILLANI, A., PACCA, J. L.(1997). Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. *Revista da Faculdade de Educação da USP, São Paulo*, v. 23, p. 196-214.
- VILLANI, A., ORQUIZA DE CARVALHO, L. (1997). Evolución de las representaciones mentales sobre colisiones. *Enseñanza de las Ciencias*, v.15, n. 1, p. 91-102.
- VOSNIADOU, S., IOANNIDES, C.(1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 10, p. 1213-1230.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, v. 4., p. 45-69.
- VYGOTSKY, L. (1991). *A formação social da mente*. 4. ed. Trad. José Cipolla Neto. São Paulo, Martins Fontes. (Original parcialmente publicado em 1960, na URSS)
- VYGOTSKY, L. (1991). *Pensamento e linguagem*. 3. ed. Trad. Jeferson L. Camargo. São Paulo: Martins Fontes.
- WARREN, J. (1972). The teaching of the concept of heat. *Physics Education*, v. 7, p. 41-44.
- WARREN, J. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, v.4, n. 3, p. 295-297.
- WARREN, J. (1983). Energy and its carriers: a critical analysis. *Physics Education*, v. 18, n. 209-212.
- WATTS, M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, v. 18, p. 213-216.
- WELZEL, M. (1998). The emergence of complex cognition during a unit on static electricity. *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 9, p. 1107-1118.
- WELZEL, M., AUFSCHNAITER, S. (1997). The emergence of understandings of electricity: increasing complexity of discursive and material actions. *Paper presented at the 1997 NARST Conference*. Available from Internet: <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/aufschnaiter/>.
- WELZEL, M., WOLFF M.R. (1998). Do interviews really assess students' knowledge? *International Journal of Science Education*, v. 20, n. 1, p. 25-44.
- WHITE, R. (1994). Dimensions of Content. In: FENSHAM, P. GUNSTONE, R., WHITE, R. *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning*. London: Falmer Press, p. 255-262.

- WISER, M., CAREY, S. (1983). When heat and temperature were one. In: GENTNER, D., STEVENS, A. (Eds.). *Mental models*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum, p. 267-297.
- ZEMANSKY, M. (1970). The use and misuse of the word "heat" in physics teaching. *The Physics Teacher*, v. 8, p. 295-300.

MÓDULO DE CIÊNCIAS

“Regulação Térmica nos Seres Vivos”



CADERNO DO ALUNO - VERSÃO PRELIMINAR

Carmem Maria de Caro Martins
Helder Figueiredo e Paula
Maria Emília Caixeta C. Lima
Nilma Soares da Silva
Orlando G. de Aguiar Jr.
Selma A. Moura Braga

“Regulação Térmica nos Seres Vivos”

ÍNDICE:

APRESENTAÇÃO.....	01
ATIVIDADE DE ABERTURA: O que sabemos sobre os processos de controle de temperatura corporal.....	02
PARTE I- AS SENSações DE QUENTE E FRIO E OS CONCEITOS FÍSICOS DE CALOR E TEMPERATURA	
Atividade I.1. Aspectos Fundamentais Da Medida De Temperatura.....	03
Leitura 1. Algumas Informações Adicionais Sobre Os Termômetros De Líquido.....	05
Atividade I.2.Os agasalhos nos aquecem?.....	06
Atividade I.3. Mais ou menos frio, mais ou menos quente.....	07
Leitura 2. O Calor e o Frio.....	08
Atividade I.4. Calor, Temperatura e Equilíbrio Térmico.....	09
Leitura 3. O Equilíbrio Térmico.....	10
Atividade I.5. A temperatura de diferentes materiais e as sensações ao tato.....	10
Leitura 4. Afinal, quando dois corpos possuem a mesma temperatura?	11
Atividade I.6. Calor absorvido e mudanças de temperatura	12
Leitura 5. Estabelecendo relações e diferenças entre calor e temperatura.....	13
Atividade I.7. Quando o equilíbrio térmico não ocorre.....	14
Leitura 6. Calor, energia, diferenças de temperatura e equilíbrio térmico.....	15
PARTE II: AS TRANSFERÊNCIAS DE ENERGIA ENTRE OS SERES VIVOS E O AMBIENTE	
Atividade II.1. As temperaturas de nosso corpo e a temperatura ambiente.....	16
Leitura 7. De onde vem a energia que nos mantém aquecidos?.....	17
Atividade II.2. O que fazemos com a energia que provém dos alimentos?.....	18
Atividade II.3. Balanço energético e manutenção de temperatura.....	19
Leitura 8. O balanço energético: obtenção e gastos de energia.....	19
Atividade II.4: O ambiente e a temperatura do corpo de alguns animais.....	20
Leitura 9. A Heterotermia e as adaptações dos lagartos.....	22
Leitura 10. Homeotermia: a busca de equilíbrio entre produção e consumo de energia com temperatura corporal constante.....	22
Atividade II.5. Vantagens e desvantagens da Homeotermia.....	23
PARTE III – OS PROCESSOS DE CONTROLE DA TEMPERATURA CORPORAL	
Leitura 11. O Sistema de Regulação Térmica no corpo humano.....	25
Atividade III.1. Investigando os Processos de Transferência de Calor: condução e convecção.....	25
Atividade III.2. Investigando os Processos de Transferência de Calor: radiação.....	29
Leitura 12. As trocas de calor por radiação.....	29
Atividade III.3. Investigando os Processos de Transferência de Calor: evaporação.....	31
Atividade III.4. Suportando altas temperaturas: um desafio aos mamíferos.....	31
Atividade III.5. Propriedades térmicas da água e sua importância para a regulação da temperatura dos animais.....	32
Atividade III.6. Adaptações dos animais a condições extremas: contando alguns “casos”	34

Ao nosso leitor,

Você já reparou nas mudanças que ocorrem em seu corpo quando faz frio ou calor? Assim como você, todos os animais enfrentam mudanças de temperatura. Entretanto, os processos que ocorrem com os corpos desses animais, bem como seus comportamentos, possuem uma grande variedade.

Nesta unidade, investigaremos como os humanos e outros animais podem controlar suas temperaturas corporais. Nossa investigação tratará, dentre outras, das seguintes questões: Há animais cuja temperatura corporal é constante? Há animais cuja temperatura corporal varia conforme a temperatura ambiente? O que ocorre com a temperatura interna de nossos corpos quando a temperatura ambiente sofre alterações? Que cuidados devemos ter quando estamos em ambientes excessivamente quentes ou frios?

Para realizar tal investigação, será preciso esclarecer o sentido dos conceitos físicos de calor e temperatura, investigar as formas de produção de calor em nosso corpo, assim como os mecanismos através dos quais nosso corpo transfere ou recebe calor do ambiente. O papel da água nesses processos e algumas propriedades dessa substância serão tratadas com atenção. Trataremos ainda, de como a energia, obtida a partir dos alimentos ou gasta através das atividades físicas, influem em tudo isso.

Para que possamos compreender e apreciar melhor a diversidade da vida e a adaptação das várias espécies ao meio em que vivem, iremos destacar alguns “casos” de animais que vivem em condições extremas de temperaturas, muito altas ou muito baixas. Afinal, quais são as características desses animais que permitem sua sobrevivência em ambientes tão adversos?

Esperamos que, ao final dessa unidade, você tenha descoberto novos aspectos do funcionamento de seu próprio corpo. Esperamos, sobretudo, que esse unidade lhe auxilie a admirar cada vez mais a vida, em suas belas e variadas manifestações.

ATIVIDADE DE ABERTURA: O que sabemos sobre os processos de controle de temperatura corporal?

As questões apresentadas a seguir têm, basicamente, dois objetivos. Por um lado, ao pensar sobre elas, você irá ter uma noção sobre o conteúdo dessa unidade de estudos. Por outro lado, ao respondê-las, você estará registrando as idéias que possui, no momento atual, sobre o tema em estudo. Voltando às mesmas situações, mais tarde, ou a situações semelhantes, você poderá comparar sua forma de pensar atual com as idéias que irá desenvolver através de nossos estudos e atividades. Será possível, assim, avaliar o avanço que você pôde alcançar na compreensão do tema. Responda as questões individualmente e, a seguir, discuta com seu grupo, registrando as conclusões finais.

- 1) Você deve saber que, quando estamos saudáveis, a temperatura interna do nosso corpo se mantém relativamente constante, mesmo quando a temperatura ambiente varia (dias muito quentes ou muito frios). Em sua opinião, como isso é possível?
- 2) Em um dia de calor, transpiramos muito, e nos refrescamos movimentando o ar com auxílio de um ventilador. Como você explica esses fatos?
- 3) Mesmo quando a temperatura ambiente é baixa, sentimos muito calor quando fazemos exercícios físicos. Como você explica isso?
- 4) Em um dia de frio sentimos tremores involuntários e nossa pele fica ressecada. Nos aquecemos com auxílio de agasalhos e esfregamos as mãos uma contra a outra. Como você explica cada um desses fatos?
- 5) Colocamos uma pedra de gelo em um copo de limonada fria. Como você explica as transformações no gelo e na bebida? Podemos, nesse caso, falar em transferência de calor?
- 6) Um copo de café quente foi abandonado sobre a mesa. Descreva e explique o que acontece à medida em que o café esfria. Explique ainda por que, ao assoprar o café, ele se esfria mais rapidamente. O que acontece nesse caso?
- 7) Considere que, dentro de uma gaveta de um freezer, encontram-se vários objetos: um copo de metal, um copo de vidro, um pote de sorvete, um pequeno pedaço de gelo e um grande pedaço de gelo. Supondo que esses objetos estejam há bastante tempo abandonados no interior da gaveta, o que se pode dizer sobre a temperatura de cada um deles (são iguais ou diferem entre si)? Explique sua resposta!
- 8) A febre é uma reação comum do organismo em resposta a infecções e outras moléstias. O que acontece com o nosso organismo quando estamos com febre. Nesses casos, como se explica a elevação da temperatura corporal?



PARTE I- AS SENSAÇÕES DE QUENTE E FRIO E OS CONCEITOS FÍSICOS DE CALOR E TEMPERATURA

Todos sabemos que o critério utilizado para definir um dia como mais ou menos frio, ou mais ou menos quente, é a medida da temperatura do ar. Essa medida é também conhecida como medida da temperatura ambiente, sendo realizada através de aparelhos conhecidos como termômetros.

Um outro tipo de medida de temperatura muito comum em nosso dia a dia é a medida da temperatura de nosso corpo. Essa medida é feita com um tipo especial de termômetro conhecido como termômetro clínico.

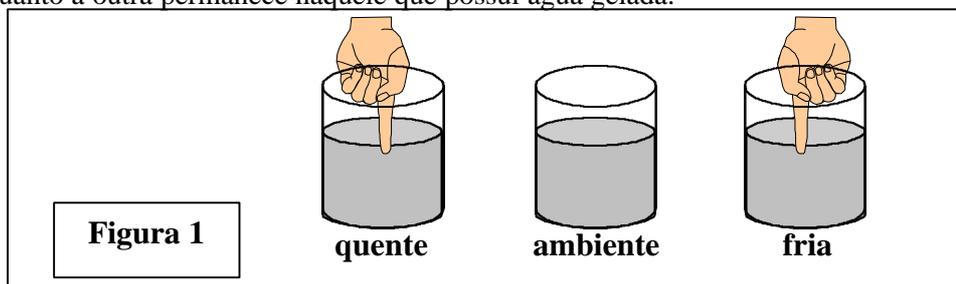
Existe uma série de termômetros dos mais variados tipos, destinados às mais diversas aplicações. Além dos termômetros, o homem produziu sensores de temperatura capazes de detectar diferenças de temperatura entre objetos situados num determinado ambiente. Um exemplo desse tipo de sensor de temperatura pode ser encontrado nos chamados “mísseis teleguiados” capazes de seguir os motores aquecidos de um avião em pleno vôo. Nossa própria pele também possui, em toda a sua extensão, sensores de temperatura com os quais somos capazes de avaliar a aproximação de objetos quentes ainda que estejamos de olhos fechados. Outros animais, como as cobras, possuem sensores ainda mais especializados, que lhes permitem localizar com precisão a presa através do calor emitido por ela.

Nessa primeira etapa de nossos estudos, pretendemos discutir algumas características e limitações de nossa capacidade de avaliar temperaturas através do tato. Além disso, pretendemos investigar a estrutura e o funcionamento de alguns tipos mais simples de termômetros.

Atividade I.1. Aspectos Fundamentais Da Medida De Temperatura

Exploração 1: O tato e a avaliação de temperatura

1. Diante de si você tem três recipientes contendo água quente, gelada e a temperatura ambiente. Mantenha, por alguns instantes, uma de suas mãos no interior do recipiente de água quente enquanto a outra permanece naquele que possui água gelada.



2. Introduza agora ambas as mãos no recipiente de água a temperatura ambiente e procure descrever suas sensações ao responder à pergunta: O que cada uma das mãos parece indicar em relação à temperatura da água?
3. Discuta com seu grupo e procure explicar: como você explica o fato de a água na mesma temperatura provocar diferentes sensações de quente/frio?

4. É comum que duas pessoas tenham sensações térmicas diferentes de um mesmo ambiente ou objeto. Como você explica isso?

Exploração 2: Compreendendo o funcionamento de termômetros

Em países de clima tropical e subtropical como o nosso, os invernos não são rigorosos. Nos dias de temperatura mais amena, é comum encontrar pessoas bem agasalhadas ao lado de pessoas com quase nenhum agasalho. Quando avaliamos a temperatura dos objetos através do tato, também costumamos realizar avaliações “subjetivas”, que podem variar de pessoa para pessoa ou de ocasião para ocasião.

Para contornar essa dificuldade, os homens inventaram dispositivos capazes de medir, com isenção, o estado térmico (ou temperatura) de um objeto. Nessa atividade, iremos construir um aparelho bastante simples e rudimentar para compreender melhor como funcionam os termômetros comuns, de coluna de líquido (como aqueles utilizados em laboratórios e em nossas casas, para avaliar a temperatura corporal).

Para isso, você irá utilizar: 1. Um tubo de ensaio; 2. Uma solução de álcool e corante até cerca da metade do tubo; 3. Uma mangueira de vidro com orifício bem fino (também chamado capilar capilar); 4. Uma rolha com orifício vedando o tubo de ensaio, por onde passa o capilar. Monte o aparelho conforme a figura ao lado. É importante ainda verificar se o sistema está bem vedado, impedindo a entrada ou saída de ar pela rolha.

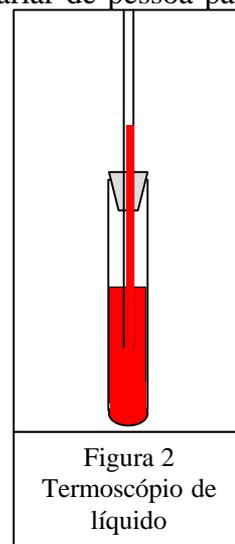


Figura 2
Termoscópio de líquido

Uma vez montado o aparelho, realize as seguintes explorações:

1. Segurando o aparelho com as mãos na parte inferior do tubo de ensaio, o que acontece com o nível do líquido no capilar? Como você explica esse resultado?
2. O que acontece com o nível do líquido se segurarmos o aparelho na parte superior do tubo de ensaio, em contato com o ar existente dentro do tubo? Compare com o resultado anterior e explique.
3. O que acontece com o nível do líquido quando colocamos o aparelho em água fria? Como você explica esse resultado?
4. Veja se seu aparelho é suficientemente preciso para indicar diferentes temperaturas das mãos. Para isso, marque a posição da coluna de líquido quando você o segura normalmente (como no item 1), e depois repita a operação com as mãos pré-aquecidas (o que pode ser feito esfregando vigorosamente as mãos uma contra a outra). Discuta com seus colegas: o que poderia ser feito para melhorar a precisão do nosso aparelho?
5. O nosso aparelho não mede temperatura, apenas as avalia. Por essa razão, é denominado termoscópio. O que falta ao nosso termoscópio para se tornar um bom protótipo de um termômetro?
6. Observe e manipule diferentes tipos de termômetros: termômetro clínico, termômetro de laboratório, termômetros digitais, termômetro de fita de cristal líquido. Observe suas diferenças e procure explicar como cada um deles funciona.

Leitura 1: Algumas informações sobre os termômetros

Para a medida da temperatura utilizamos termômetros. Existem vários tipos de termômetros. Alguns desses aparelhos, como aqueles utilizados em laboratório e para a medida da temperatura corporal, baseiam-se na dilatação de um líquido provocada pelo aquecimento. Como o aumento de volume do líquido é pequeno, para torná-lo visível são utilizados tubos capilares muito finos, de modo a indicar um aumento significativo de altura da coluna, mesmo com pequeno acréscimo no volume do líquido. Para auxiliar a visualização dessa estreita coluna de líquido, o vidro exterior ao tubo capilar serve de lente de aumento.

Os termômetros de coluna de líquido podem apresentar diferentes amplitudes de medida de temperatura e graus variados de precisão. O termômetro clínico, por exemplo, é projetado para medir temperaturas entre 35 a 42°C, com precisão de décimos de grau. Já o termômetro utilizado em laboratórios de ciências, possui menor precisão (de 1°C) e maior amplitude de medida (de -10 a 110°C).

A diferença básica entre os dois aparelhos está na espessura do capilar, mais fino no termômetro clínico do que no de laboratório. Além disso, o termômetro clínico possui um estrangulamento na base do tubo capilar que permite que o valor indicado por ele não se altere quando é retirado do paciente (mesmo em dias muito frios). Para abaixar o valor indicado, é preciso então sacudi-lo vigorosamente, para que o líquido que se encontra no interior do capilar possa voltar ao interior do bulbo. Esse procedimento não deve ser adotado quando utilizamos termômetros comuns de laboratório. Eles não possuem estrangulamento na base do capilar e indicam sempre a temperatura do local em que se encontram.

Além dos termômetros de coluna de líquido, existem vários outros, que fazem suas medidas a partir de outra propriedade dos materiais de que são constituídos, que variam com o aquecimento. Assim, por exemplo, termômetros digitais costumam ser feitos de uma liga de platina. Esse material, quando aquecido, modifica a resistência que oferece à passagem de corrente elétrica. O termômetro possui uma pequena bateria e o indicador é um medidor de intensidade de corrente elétrica, fazendo a conversão para os valores correspondentes de temperatura.

Outro tipo bastante curioso de termômetro é constituído por uma fita de cristal líquido, material que modifica suas propriedades ópticas (mudando de cor) quando submetido a faixas bem definidas de temperatura.

Atividade I.2.Os agasalhos nos aquecem?

- 1- Em um dia frio precisamos nos agasalhar. É muito comum as pessoas afirmarem que os cobertores e as blusas de frio aquecem. Seriam, portanto, os cobertores e agasalhos “fontes de calor”?
- 2- Vamos fazer um pequeno experimento para discutir essa questão: envolveremos um cubo de gelo com uma flanela, que é um tecido semelhante àquele utilizado nos cobertores e agasalhos. Outro cubo idêntico será colocado ao lado do primeiro, mas não será recoberto por nenhum material. Faça uma previsão sobre o estado dos dois cubos de gelo, 10 minutos depois de terem sido colocados no interior de dois copos idênticos sobre a superfície de uma mesa. Em seguida, faça a observação do que ocorreu e forneça uma explicação para o fenômeno.

Previsão	Observação e explicação

- 3- Desta vez vamos envolver uma batata quente com uma flanela idêntica àquela que utilizamos para cobrir o pedaço de gelo. Outra batata igualmente quente será exposta próxima à primeira, mas não será recoberta por nenhum material. Com o auxílio de um termômetro, meça a temperatura das duas batatas e faça sua previsão sobre o estado em que elas se encontrarão 10 minutos depois de terem sido abandonadas sobre a superfície de uma mesa.

Previsão	Observação e explicação

- 4- A flanela se comportou de maneira semelhante nas experiências realizadas nos itens 2 e 3? Explique!
- 5- As experiências realizadas nessa exploração nos permitem afirmar que os cobertores nos aquecem? Então, qual a função dos cobertores e agasalhos?

Atividade I.3. Mais ou menos frio, mais ou menos quente

Nesta atividade faremos uma experiência bem curiosa. Para compreender a própria experiência e os seus resultados, seremos, provavelmente, levados a repensar algumas de nossas idéias sobre aquilo que entendemos como sendo “calor” ou “frio”. Repensar e reconstruir idéias é quase sempre uma necessidade, quando desejamos entender a realidade de maneira mais profunda. Sabemos que nossas idéias estão se tornando mais ricas e poderosas, na medida em que nos permitem relacionar e compreender “coisas novas”.

Muitas vezes, utilizamos os termos “calor” e “frio” relacionados aos efeitos e sensações que os objetos e o próprio ar que cerca nossos corpos nos provocam ao tato. Nesse sentido, costumamos pensar no “calor” e no “frio” enquanto qualidades ou “coisas opostas”. **Mas, será mesmo conveniente manter essa separação entre “calor” e “frio” em nosso estudo de fenômenos e processos ligados ao aquecimento e resfriamento dos corpos?**

Essa atividade pretende ajudar você a responder à essa questão. Vamos fazer isso, investigando uma outra questão que, para muitas pessoas, pode soar um pouco estranha: *é possível encontrar alguma situação na qual um copo contendo gelo + água possa ser considerado uma fonte de calor?*

1. Nessa experiência vamos precisar de um termômetro. Quando o retiramos de seu invólucro já há uma medida de temperatura nele registrada. Normalmente, essa medida corresponde à temperatura do ar do ambiente em que nos encontramos. Verifique se a temperatura do ar está abaixo da temperatura do seu corpo (que sabemos estar em torno dos 36,5 °C). O que acontece ao termômetro quando você o segura com os dedos, ou o coloca sob as axilas? Nessas condições, podemos dizer que a coluna do termômetro sobe porque nosso corpo transfere calor a ele?
2. Para dar nosso próximo passo, vamos precisar de duas latas de alumínio cortadas pela metade. No fundo de uma delas, colocaremos uma pequena camada de gelo picado sobre a qual pousaremos o bulbo do termômetro. Feito isso, iremos construir, em torno do bulbo, camadas sucessivas de gelo picado misturado com sal de cozinha. Faça a medida da temperatura da mistura de gelo picado e sal. Anote o valor encontrado. $t = \dots$
3. Na outra lata, colocaremos gelo puro misturado com água (sem adicionar sal!). Em seguida, o termômetro deverá ser retirado do interior da lata que contém a mistura sal + gelo e introduzido, rapidamente, na lata que contém gelo fundente (gelo + água). Observe atentamente o que acontece com a coluna de líquido no termômetro e meça o valor de temperatura alcançado $t = \dots$
4. Baseando-se na resposta que você deu ao item 1 e no conhecimento que você possui sobre o funcionamento dos termômetros, você acha correto dizer que a água gelada transferiu calor para o termômetro e, por essa razão, foi possível observar a elevação da coluna de líquido nesse aparelho? Justifique.

Leitura 2. O Calor e o Frio

As idéias de “calor” e “frio” que as pessoas possuem, como resultado de suas experiências pessoais, expressam normalmente coisas opostas. O “frio” costuma ser considerado como algo que pertence ou que pode ser transmitido por “coisas frias”. Em contrapartida, o “calor” é entendido como atributo das “coisas quentes” como a batata que utilizamos na atividade 2. Entretanto, a experiência que fizemos (atividade I.3), coloca alguns problemas a essa contraposição entre “frio” e “calor”. Afinal, a temperatura do termômetro subiu ao ser retirado da lata com gelo + sal e introduzido na lata com gelo + água (sem sal). Podemos concluir que a lata com gelo + água, normalmente considerada uma “coisa fria” do ponto de vista do nosso tato, estava a uma temperatura superior e, portanto, mais quente que a lata de gelo + sal!

Nossa primeira lição é, então, a seguinte: As coisas não são nem “quentes” e nem “frias” a princípio. O que deve definir um objeto como “frio” ou “quente” é a comparação de sua temperatura com a de outro objeto qualquer, adotada como referência. Assim, a lata de gelo + água foi capaz de aquecer o termômetro, que havia sido retirado da lata de gelo + sal, a uma temperatura inferior à da lata de gelo + água.

De tudo isso que dissemos, podemos concluir que um objeto pode ser uma fonte de calor sempre que estiver próximo a outro objeto com uma temperatura inferior à sua. O quente e o frio são relativos: o mais quente pode ser entendido como menos frio e vice-versa.

Além disso, quando colocamos em contato objetos a diferentes temperaturas, por exemplo, quando introduzimos leite frio no café quente, observamos que dois processos simultâneos ocorrem: o leite que estava mais frio vai se aquecendo e o café que estava mais quente vai se resfriando. Algumas pessoas dizem que o frio passa do leite para o café, enquanto o calor passa do café para o leite. Entretanto, se o frio e o calor são termos apenas relativos (o frio pode ser quente, como vimos na experiência anterior), seria mesmo adequado supor a existência física da entidade “frio” oposta ao “calor”?

Do ponto de vista da Ciência, a resposta à última questão é negativa. Por isso, a Ciência não utiliza mais a idéia de “frio”. Podemos pensar nos processos simultâneos de aquecimento do leite e resfriamento do café como resultado de um único processo: a transferência de calor do café para o leite. O raciocínio, então, é o seguinte: ao transferir calor, um corpo geralmente sofre um abaixamento de temperatura; ao absorver calor, tende a sofrer uma elevação de temperatura¹. Os processos de aquecimento e resfriamento são simultâneos e provocados pelo mesmo e único processo de transferência de energia (é esse processo de transferência de energia térmica que chamamos de calor).

Questões para discussão:

- 1) Na linguagem cotidiana, o “frio” e o “quente” são, muitas vezes, utilizados como termos opostos. Discuta a adequação das expressões abaixo, em situações de vida cotidiana e no estudo de fenômenos térmicos:
 - a) “feche a janela para o frio não entrar”
 - b) “esse agasalho me esquenta muito”

¹ Como veremos adiante, isso só não ocorre quando o material estiver sofrendo mudanças de fase (por exemplo, água fervendo, ou gelo fundindo).

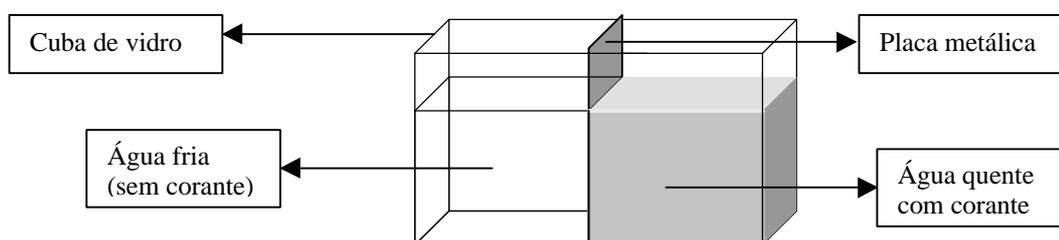
- 2) Uma pessoa retira um pote de sorvete do freezer e coloca-o na geladeira para que, após o almoço, possa ter sua sobremesa bem cremosa. Descreva e explique os processos de transferência de calor entre o sorvete e o ar existente no interior da geladeira.

Atividade I.4. Calor, Temperatura e Equilíbrio Térmico

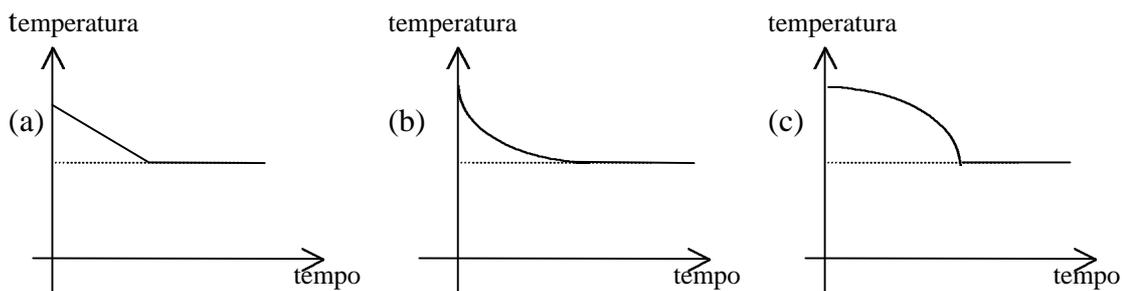
Em muitas situações de nossa vida, quando colocamos em contato objetos a diferentes temperaturas, observamos que o mais quente vai se resfriando ao mesmo tempo que o outro, que estava a temperatura mais baixa, vai se aquecendo. Por exemplo, quando o leite que vamos tomar está muito quente, colocamos um pouco de leite gelado de forma a obter uma mistura com uma temperatura mais adequada.

O estudo das mudanças que ocorrem nas temperaturas de objetos postos em contato é muito importante. Através desse estudo poderemos elaborar e desenvolver certas idéias fundamentais à compreensão do tema que estamos desenvolvendo.

Para ver como isso ocorre, façamos a seguinte montagem (ver figura 3). Uma cuba de vidro ou acrílico foi dividida em duas partes por meio de uma placa metálica. Colocamos água morna à direita da vasilha, e água fria na parte esquerda. Adicionamos corante vermelho à água morna, colocada do lado direito, de modo a comprovar que elas não se misturam, uma vez que a placa metálica foi bem vedada, impedindo a passagem de água de um lado para outro.



1. O que você espera que irá acontecer com a temperatura das duas porções de água à medida que o tempo passa? Justifique.
2. Faça a medida de suas temperaturas a cada dois minutos e anote os valores em uma tabela.
3. Discuta com seus colegas e responda: o que provoca as mudanças de temperatura das duas porções de água colocadas na vasilha? a temperatura da água irá variar sempre?
4. Um copo com água quente foi colocado sobre uma mesa. Assinale, dos gráficos abaixo, aquele que melhor representa a variação de temperatura da água no interior do copo em função do tempo. Justifique sua escolha.



Leitura 3: O Equilíbrio Térmico

As temperaturas de objetos em contato sempre tendem a se igualar. Esse estado de igualdade de temperatura para o qual tendem os corpos é denominado estado de **equilíbrio térmico**. Quando as temperaturas não são iguais, o sistema não está em equilíbrio térmico e haverá transferência de calor do corpo a temperatura mais alta para o outro que está a uma temperatura inferior.

Essa tendência ao “equilíbrio térmico” (ou igualdade de temperaturas) é algo muito importante na natureza. É isso que nos permite medir temperaturas através dos termômetros. Para ler a temperatura de um corpo através de um termômetro comum de laboratório, por exemplo, precisamos esperar que a coluna de líquido contida no interior desse medidor se estabilize. Nesse momento, dizemos que o termômetro e o corpo com o qual ele foi posto em contato atingiram a mesma temperatura. O valor dessa temperatura pode, então, ser lido numa escala adequada, previamente marcada no próprio termômetro.

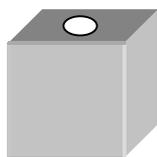
A razão pela qual objetos com diferentes temperaturas iniciais atingem o “equilíbrio térmico” é a seguinte: os objetos que inicialmente apresentam uma maior temperatura, transferem calor (ou energia) aos objetos que, inicialmente, apresentam uma temperatura menor. Essa transferência de energia (ou de calor) cessa assim que as temperaturas dos objetos tornam-se iguais.

Atividade I.5. A temperatura de diferentes materiais e as sensações ao tato

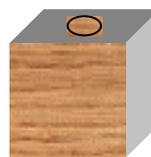
As sensações produzidas pelo nosso tato nos levam a classificar as coisas como “quentes” ou “frias”. Essas sensações e classificações não costumam coincidir com as medidas de temperatura que podemos fazer com o auxílio de termômetros.

Nesta atividade, teremos a oportunidade de compreender as diferenças entre as sensações provocadas pelo tato e as medidas de temperatura feitas através de termômetros. Para tanto, iremos medir a temperatura de diferentes materiais e objetos.

- 1- Você receberá em sua mesa dois pequenos blocos. Um deles é feito de alumínio e o outro de madeira. Eles estavam guardados dentro de um armário no laboratório de ciências. Em sua opinião, as temperaturas dos blocos devem ser iguais ou diferentes? Explique!



Bloco de Alumínio



Bloco de Madeira

- 2- Ambos os blocos contêm um orifício que nos permite medir temperaturas através da introdução de um termômetro. Procure esse orifício e meça a temperatura de cada bloco procurando não tocá-los ou manipulá-los diretamente, para não aquecê-los. Anote os valores de temperatura encontrados.
- 3- Lembrando-se da discussão que fizemos sobre “equilíbrio térmico”, procure justificar as medidas de temperatura obtidas no item anterior.
- 4- Toque os dois blocos e procure avaliar as sensações que nos oferecem ao tato. Anote suas observações.

- 5- Tente prever: o que irá acontecer com a temperatura no interior de cada um dos blocos (medida através do termômetro colocado em seu orifício) se os segurarmos com as mãos durante algum tempo? As temperaturas de ambos irão alterar-se igualmente com o tempo?
- 6- Façamos então a experiência: segure os dois blocos em cada uma de suas mãos, mantendo, com a ajuda de um colega, os termômetros nos orifícios de cada um deles. O grupo deve acompanhar a evolução da temperatura de ambos os blocos à medida em que o tempo passa (é preciso estar atento ao que ocorre nos dois primeiros minutos). Anote suas observações e procure explicar as diferenças.
- 7- Como você explica as diferenças de sensação provocadas pela madeira e pelo metal? Se o nosso tato não avalia temperatura, o que ele avalia então?

Leitura 4: Afinal, quando dois corpos possuem a mesma temperatura?

Contrariando a idéia que muitas pessoas possuem, a temperatura de um objeto não depende do material de que é constituído. De acordo com o conceito científico de temperatura, todo objeto tende a trocar energia com os materiais que estão à sua volta enquanto houver diferenças de temperatura entre eles. Essa tendência pode ser evitada se envolvermos os objetos em materiais isolantes térmicos como o tecido com o qual embrulhamos o gelo ou a batata quente na atividade I.2.

Assim, as diferentes sensações provocadas ao tato por diferentes materiais (como o alumínio e a madeira) que não apresentam diferenças de temperatura entre si, devem-se às diferentes capacidades desses materiais em conduzir o calor de maneira mais ou menos eficiente. A madeira não conduz bem o calor. Ao tocar com as mãos um bloco de madeira, estaremos aquecendo as partes da madeira em contato direto com a nossa mão. Em pouco tempo, essas partes da madeira atingirão uma temperatura muito próxima à da nossa pele. A partir de então, uma quantidade muito pequena de calor continuará a sair de nossas mãos, aquecendo o restante da madeira.

O alumínio, como todo metal, é um bom condutor de calor. Isso significa que o calor se transfere rapidamente através desse material. Assim, ao tocar o bloco de alumínio não estaremos aquecendo apenas a parte do metal em contato direto com nossa mão, mas toda a peça que é rapidamente aquecida. O fluxo de calor de nossa pele para o alumínio é muito maior do que o fluxo para a madeira, mesmo estando ambos à mesma temperatura. Sendo assim, o bloco de alumínio parece mais frio ao tato.

Portanto, dizer que o alumínio e a madeira estão à mesma temperatura não significa dizer que os dois materiais provocarão as mesmas sensações ao tato. Significa, isso sim, dizer que por estarem à mesma temperatura não haverá transferência de calor entre eles.

Atividade I.6.: Calor absorvido e mudanças de temperatura...

Muitas vezes, utilizamos o conceito de calor como sinônimo de temperatura, outras vezes, associado à idéia de “temperatura alta”, e às vezes ainda, falamos que a temperatura é uma “medida do calor de um corpo”.

Mais uma vez, iremos examinar se essas idéias são ou não adequadas, realizando alguns experimentos e analisando-os cuidadosamente à luz desses conceitos.

Exploração 1: O aquecimento diferenciado dos materiais

Vamos aquecer, **numa mesma fonte de calor** (chapa térmica ou aquecedor elétrico) e **durante o mesmo intervalo de tempo**, três vasilhas iguais contendo:

Vasilha A: 100 g de água

Vasilha B: 500 g de água

Vasilha C: 500 g de óleo

- Meça a temperatura inicial do conteúdo das três vasilhas e anote na tabela abaixo.
- Deixe cada uma das vasilhas durante 3 minutos sobre o aquecedor. Meça a temperatura final de cada uma delas e anote os valores na tabela.

Recipiente	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)
Vasilha A (100 g de água)		
Vasilha B (500 g de água)		
Vasilha C (500 g de óleo)		

- Discuta com seu grupo e então responda: a quantidade de calor fornecido às três vasilhas foi o mesmo? E as variações de temperatura?
- Como você explica esses resultados?

Exploração 2: Quando o calor não provoca mudanças de temperatura

Coloque um ebulidor em um recipiente contendo 500 g de água. Meça a temperatura inicial da água e o tempo necessário até que a água comece a ferver. A partir de então deixe o ebulidor ligado e veja o que acontece com a temperatura da água.

- O ebulidor continua fornecendo calor à água enquanto ela ferve?
- O que você espera que aconteça caso desliguemos o ebulidor? Faça a experiência e explique o resultado.
- O que você espera que aconteça com a temperatura da água se, após iniciada a fervura, introduzirmos outro ebulidor idêntico, aumentando assim a quantidade de calor fornecido ao sistema? Faça a experiência e explique o resultado.
- Coloque água fervendo em um quitasato aberto e, através de seu orifício, introduza um termômetro de forma a medir a temperatura do vapor d'água liberado. A temperatura do vapor é maior do que a temperatura da água em ebulição? Comente o resultado.

✍ A partir dos resultados desses experimentos (explorações 1 e 2), discuta com seu grupo as seguintes questões, registrando suas conclusões:

- 1) Você considera adequado dizer que os conceitos de calor e temperatura são equivalentes?
- 2) Você considera adequado dizer que a temperatura é a medida do calor de um corpo?
- 3) Como podemos distinguir calor de temperatura? Quais são as relações entre esses dois conceitos?

Leitura 5. Estabelecendo relações e diferenças entre calor e temperatura

Os termos Calor e Temperatura receberam muitos significados distintos ao longo da história. Estiveram sempre associados ao estudo de importantes transformações como, por exemplo, a dilatação, os processos de aquecimento e resfriamento, ou a mudança de estado físico dos materiais (que podem apresentarem-se nos estados sólido, líquido ou na forma de vapor ou gás).

Se transformação é mudança, estudar uma transformação traz a necessidade de caracterizar o estado inicial e o estado final dos materiais que estão se transformando. Nas Ciências, a temperatura é uma das medidas essenciais para caracterizar tanto o estado inicial quanto o estado final apresentado pelos materiais, antes e depois de uma transformação.

Os processos de aquecimento e resfriamento também são entendidos como “transformações”. Vimos que esse tipo de transformação pode ser interpretada como o resultado de trocas de calor. Toda vez que dois sistemas a diferentes temperaturas são postos em contato, há um fluxo natural de energia do sistema de maior temperatura para o sistema de menor temperatura. O “calor”, nome que é dado a esse processo de transferência de energia, é interrompido quando cessam as diferenças de temperatura entre os materiais e sistemas em contato.

Vimos ainda que quantidades iguais de energia podem provocar diferentes variações de temperatura dependendo de três fatores: 1) a quantidade (em massa) do material aquecido; 2) o tipo de material que é aquecido; 3) o fato do material estar ou não sofrendo mudanças de estado físico.

Não podemos detectar diretamente aquilo que denominamos calor. Detectamos apenas as mudanças que acompanham as transferências de calor de um material para outro. Assim, medimos a quantidade de calor (energia transferida entre sistemas a diferentes temperaturas) pela variação de temperatura que provoca numa dada quantidade de uma substância, tomada como padrão para essa medida. Por razões históricas (facilidade de obtenção, emprego generalizado), a substância padrão para a medida do calor é a água. Definiu-se como a unidade de quantidade de calor (chamada 1 caloria) como sendo:

1 caloria = quantidade de energia necessária para aquecer 1 g de água em 1°C

1 kcal (quilocaloria) = quantidade de energia necessária para aquecer 1 kg de água em 1°C

Por fim, para esclarecer as relações entre calor e temperatura, vamos considerar os resultados da exploração 2 da atividade I.6. Vimos que a temperatura de uma certa quantidade de água fervendo não se altera mesmo quando aumentamos a quantidade de calor fornecido

ao sistema (vimos ainda que a temperatura do vapor também se manteve inalterada). Isso nos leva a constatar que a variação de temperatura não é o único efeito das transferências de calor. No caso da água fervendo, a energia fornecida foi necessária para romper as forças de atração entre as moléculas de água que as mantinham unidas quando no estado líquido. Isso ocorre com todas as substâncias quando em transição de fase (do sólido para o líquido, do líquido para o gasoso e vice-versa).

Isso nos leva a negar a definição de temperatura enquanto medida da quantidade de calor de um corpo. Se diferentes quantidades de calor podem provocar diferentes variações de temperatura (dependendo da qualidade do material e de sua quantidade) e se, ainda, uma certa quantidade de calor pode, em certas circunstâncias (mudanças de fase), não provocar qualquer mudança de temperatura, somos obrigados a admitir que a temperatura não “mede” o calor transferido.

Além disso, aquilo que denominamos “calor” não é algo que está contido no corpo aquecido, mas apenas a capacidade deste em fornecer energia assim que posto em contato com outros objetos a uma temperatura mais baixa. Calor é processo, ligado às transferências de energia entre sistemas a diferentes temperaturas.

Atividade 1.7: Quando o equilíbrio térmico não ocorre

O nosso corpo encontra-se em equilíbrio térmico com o ambiente que o cerca? Se o conceito de equilíbrio térmico significa igualdade de temperaturas, somos obrigados a admitir que a resposta é negativa. Mas, então, por que isso não acontece? Essa atividade pretende dar pistas para que possamos pensar sobre esse problema.

Para isso, vamos utilizar: um ferro de solda, um pequeno copo contendo água e um sensor de temperatura (termômetro digital).

1. Introduza a ponta de um ferro de solda ligado à tomada no interior de um pequeno copo com água. Meça, com o termômetro digital, a temperatura inicial da ponta do ferro, imediatamente antes e logo após ter sido introduzido em água. A introdução da ponta do ferro em água alterou sua temperatura? Explique.
2. Meça, em intervalos de tempo regulares, a temperatura da ponta do ferro de solda e a temperatura da água contida no copo. Para isso, agite a água antes de efetuar a medida, de modo a uniformizar sua temperatura. Anote os valores em uma tabela.
3. A água e a ponta de ferro atingiram uma “temperatura final de equilíbrio”? Se deixarmos o ferro de solda ligado por muito tempo isso irá acontecer? Justifique sua resposta.
4. Mantenha o ferro de solda ligado à tomada e retire-o da água. Por que a ponta do ferro se aquece mais nesse caso?
5. O que deve ocorrer com a temperatura da ponta de ferro caso ela seja mantida no interior da água, mas o ferro de solda seja desligado da tomada? Faça sua previsão, explique-a e, se for o caso, realize a experiência.

Leitura 6. Calor, energia, diferenças de temperatura e equilíbrio térmico

Vimos que as temperaturas de objetos em contato sempre tendem a se igualar. Se aquecermos uma moeda, medindo sua temperatura inicial e a jogarmos dentro de um copo com água, veremos que, após algum tempo, as temperaturas dos dois materiais se igualam. Nesse caso, o metal, estando a uma temperatura mais alta, transfere calor para a água. A transferência de calor faz diminuir a temperatura do metal e aumentar a temperatura da água. A transferência de energia (ou de calor) cessa assim que as temperaturas dos objetos tornam-se iguais. Assim, é fácil compreender o por quê da igualdade final de suas temperaturas. Entretanto, existem situações em que o equilíbrio térmico não chega a ser alcançado. Por que isso acontece?

Para pensar sobre essa questão vamos considerar a situação proposta na atividade I.7. Nessa atividade, vimos que o ferro de solda permanentemente ligado à tomada não chega a atingir o “equilíbrio térmico” com o ar ou com a água contida no interior da vasilha. O ferro de solda mantém uma temperatura sempre superior à temperatura do meio pois, em seu interior, há uma contínua transformação de energia elétrica. Essa energia é continuamente transferida à água na forma de calor. Assim, podemos dizer que a desigualdade entre as temperaturas é mantida graças à troca ou à transferência de energia de um objeto para o outro.



Figura 3

Para que seja possível atingir o equilíbrio térmico entre a ponta do ferro de solda e a água da vasilha, basta desligar o ferro da tomada. Dessa forma, estaremos retirando o suprimento externo de energia elétrica que mantém a diferença entre a temperatura da ponta do ferro e a temperatura da água. Isolados de qualquer fonte de energia externa, o ferro ainda irá transferir energia enquanto possuir temperatura superior à da água. No exato momento em que ferro e água atingirem a mesma temperatura, a transferência de energia irá cessar, pois os objetos terão atingido o “equilíbrio térmico”.

Questões para Discussão:

- 1) Os materiais e objetos que se encontram numa sala de aula cheia de alunos, com as luzes acesas e fortemente iluminada pelos raios de Sol, encontram-se em equilíbrio térmico? Justifique.
- 2) Qual é a condição para que dois objetos, em contato térmico e inicialmente a diferentes temperaturas, atinjam o equilíbrio térmico, caracterizado pela igualdade final de suas temperaturas?
- 3) Analise a seguinte afirmativa, comentando-a e indicando se concorda ou não com ela: “O equilíbrio térmico corresponde a uma tendência geral da natureza, que indica o sentido das trocas de energia entre corpos que possuem diferentes temperaturas”.

PARTE II: AS TRANSFERÊNCIAS DE ENERGIA ENTRE OS SERES VIVOS E O AMBIENTE

Uma vez desenvolvidos os conceitos básicos de calor e temperatura, para além das sensações de “quente” e “frio” que temos através do tato, vamos agora considerar o problema das transferências de energia entre os organismos vivos e o ambiente. Essa questão é crucial para entender como os vários grupos de animais controlam sua temperatura corporal, uma vez que a variação de temperatura é um dos efeitos decorrentes das transferências de energia.

Atividade II.1. As temperaturas de nosso corpo e a temperatura ambiente

Um bule de café quente, abandonado sobre uma mesa, tende a esfriar até atingir uma temperatura igual à temperatura do ar e dos outros objetos postos em sua vizinhança. Mas e quanto a temperatura de nosso corpo? Nossa temperatura também pode tornar-se igual à temperatura do ambiente em que estamos?

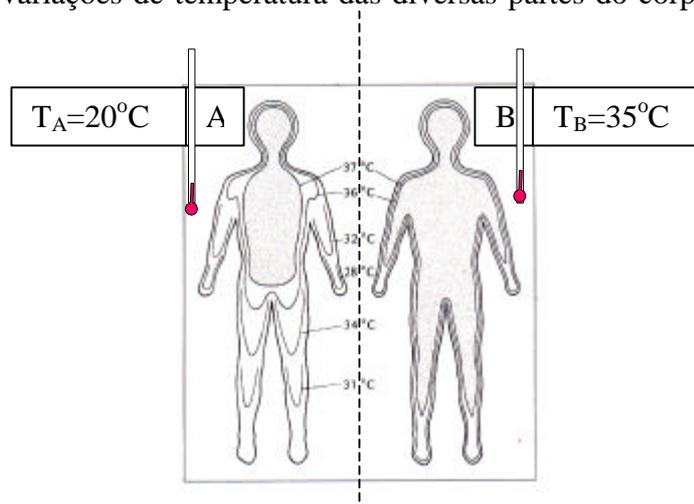
Nesta atividade pretendemos fazer algumas explorações, reflexões e análises que podem nos ajudar a pensar de forma mais clara e coerente sobre as questões acima.

1. Com o auxílio do termômetro digital (sensor de temperatura), meça a temperatura superficial da pele em várias regiões de seu corpo (mãos, pulso, rosto, orelhas, etc.). Repita a medida com outros colegas. Existem diferenças significativas de temperatura nas várias regiões da pele? E entre pessoas diferentes? Anote os resultados e comente-os.
2. Meça a temperatura das axilas com auxílio de um termômetro clínico. Compare o valor encontrado com aquele obtido em outros colegas. Nesse caso, é preciso esperar algum tempo para que o equilíbrio térmico se estabeleça entre o líquido do termômetro e seu corpo (o que se dá mais lentamente do que no sensor). Anote seus resultados e comente-os.
3. Em sua opinião, qual dessas duas temperaturas (superficial da pele ou das axilas) expressa melhor a temperatura corporal? Justifique.
4. Com um termômetro de laboratório, meça a temperatura do ar no ambiente da sala de aula. Anote seu valor.
5. Compare o valor da temperatura de seu corpo com a temperatura ambiente. O que podemos concluir a partir desses dados?
6. Você já deve ter experimentado ficar em ambientes pequenos e fechados com uma grande concentração de pessoas (no ônibus, no elevador, etc). O que acontece com a temperatura do ar nessas situações? Explique.



Figura 4

7. Nosso corpo está constantemente aquecido. Ou seja, não ficamos “frios” ao longo de um dia, mesmo depois de um banho gelado. Como isto é possível?
8. Veja o diagrama abaixo, retirado de um livro de fisiologia. Ele apresenta, de maneira esquemática, as temperaturas da pele e do interior do corpo de uma mesma pessoa em duas situações: na situação A, a pessoa encontra-se num ambiente à temperatura de 20°C; na situação B, à temperatura ambiente de 35°C. Discuta com seus colegas e procure explicar a razão das variações de temperatura das diversas partes do corpo do indivíduo, nas situações A e B.



9. Nosso organismo, assim como o organismo de todos os seres vivos, possui diferentes mecanismos de produção de calor. Este calor aquece o organismo e é importante para manter suas atividades normais. De que modo produzimos calor em nosso organismo? Onde ocorre essa “produção” de calor? Como ela se dá?

Leitura 7. De onde vem a energia que nos mantém aquecidos?

Vimos, anteriormente, que há situações em que corpos com diferentes temperaturas iniciais tendem a um “equilíbrio térmico” (igualdade de temperaturas). Nesse caso, os corpos que inicialmente apresentam uma temperatura maior, cedem calor (ou energia) aos corpos que inicialmente apresentam uma temperatura menor. Essa transferência de energia (ou calor) cessa assim que as temperaturas dos corpos se igualam.

Como nossa temperatura corporal é usualmente maior do que a temperatura ambiente, transferimos continuamente energia para o ambiente na forma de calor. Mesmo estando em ambientes com temperaturas médias bem inferiores à temperatura interna de nosso corpo, não atingimos, nem podemos atingir, o equilíbrio térmico com esses ambientes. Um ferro de solda, inserido numa vasilha de água, não atinge o equilíbrio térmico com a água enquanto estiver ligado à tomada. Assim, também, nosso corpo não atinge o equilíbrio térmico com o ambiente que o cerca, podendo manter uma temperatura constantemente superior à temperatura ambiente. Somos levados a pensar que no interior de nosso corpo há uma contínua produção de energia, que nos torna capaz de transferir grandes quantidades de calor ao ambiente que nos cerca.

Os animais necessitam energia para manter sua temperatura corporal. Os mamíferos (entre os quais nos incluímos) e as aves obtêm essa energia através da transformação química de açúcares, gorduras e proteínas em outras substâncias (CO_2 e H_2O) no interior de seus organismos.

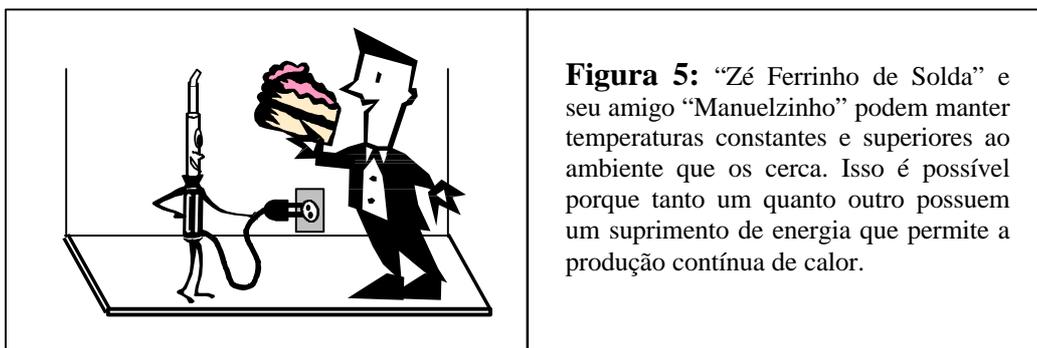


Figura 5: “Zé Ferrinho de Solda” e seu amigo “Manuelzinho” podem manter temperaturas constantes e superiores ao ambiente que os cerca. Isso é possível porque tanto um quanto outro possuem um suprimento de energia que permite a produção contínua de calor.

Atividade II.2. O que fazemos com a energia que provém dos alimentos?

Sabemos que a energia que nosso corpo utiliza provém dos nutrientes. Mas, o que fazemos com a energia que obtemos a partir dos alimentos?

1- Quais os alimentos que consumimos são capazes de fornecer maior quantidade de energia? Para responder a essa questão, pesquise os rótulos de uma série de produtos alimentares, naturais e dietéticos, e observe as informações sobre seus “teores energéticos”. Essa informação aparece sob a forma de um número expresso em “quilo-caloria” (ou kcal). Lembre-se que 1 kcal corresponde à quantidade de energia (ou de calor) capaz de aquecer 1 kg de água em 1 °C.

2- A tabela abaixo² contém valores de energia despendida por um homem de 70 kg, a cada hora, durante vários tipos de atividade, em ambiente de temperatura amena. Caso ficássemos totalmente em repouso, sem realizar qualquer atividade, e ingerindo apenas água, seria possível mantermo-nos vivos por muito tempo? Justifique.

Tipo de atividade	Quilo Calorias por hora
Dormindo	65
Acordado e deitado	77
Sentado descansando	100
Em pé, relaxado	105
Exercício “leve”	170
Andando devagar	200
Exercícios “pesados”	450
Nadando	500
Subindo escada	1100

3- A quantidade de energia que despendemos para manter nosso corpo aquecido acima da temperatura ambiente é a mesma nos dias quentes e nos dias frios?

4- É fato que a grande maioria das pessoas apresentam um apetite muito maior nos dias de inverno que nos dias de verão. Você consegue justificar esse fato?

5- Quando está muito frio podemos nos aquecer fazendo exercícios. Se não o fazemos, nosso corpo pode produzir contrações involuntárias (trememos de frio). Por que será que isso acontece?

² Tabela extraída de GUYTON, Arthur C. *Fisiologia Humana*. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana, 1981.

O que muda em nosso organismo quando “malhamos” ou praticamos esportes?

Sabemos que quando realizamos atividades físicas intensas, muitas coisas modificam-se em nosso corpo. Percebemos tais mudanças no aumento temperatura superficial da pele, na transpiração intensa, na respiração rápida e às vezes ofegante, no aumento das pulsações e da circulação sanguínea.

A atividade física tende a aumentar a temperatura corporal. Isso ocorre por que os músculos em atividade transformam mais rapidamente os nutrientes do que os músculos em repouso, cedendo mais calor no processo (cerca de 75% da energia total produzida é dissipada na forma de calor). O aumento do ritmo respiratório e da circulação se explica pela necessidade de fazer chegar mais nutrientes e oxigênio às células do nosso corpo.

Atividade II.3. Balanço energético e manutenção de temperatura

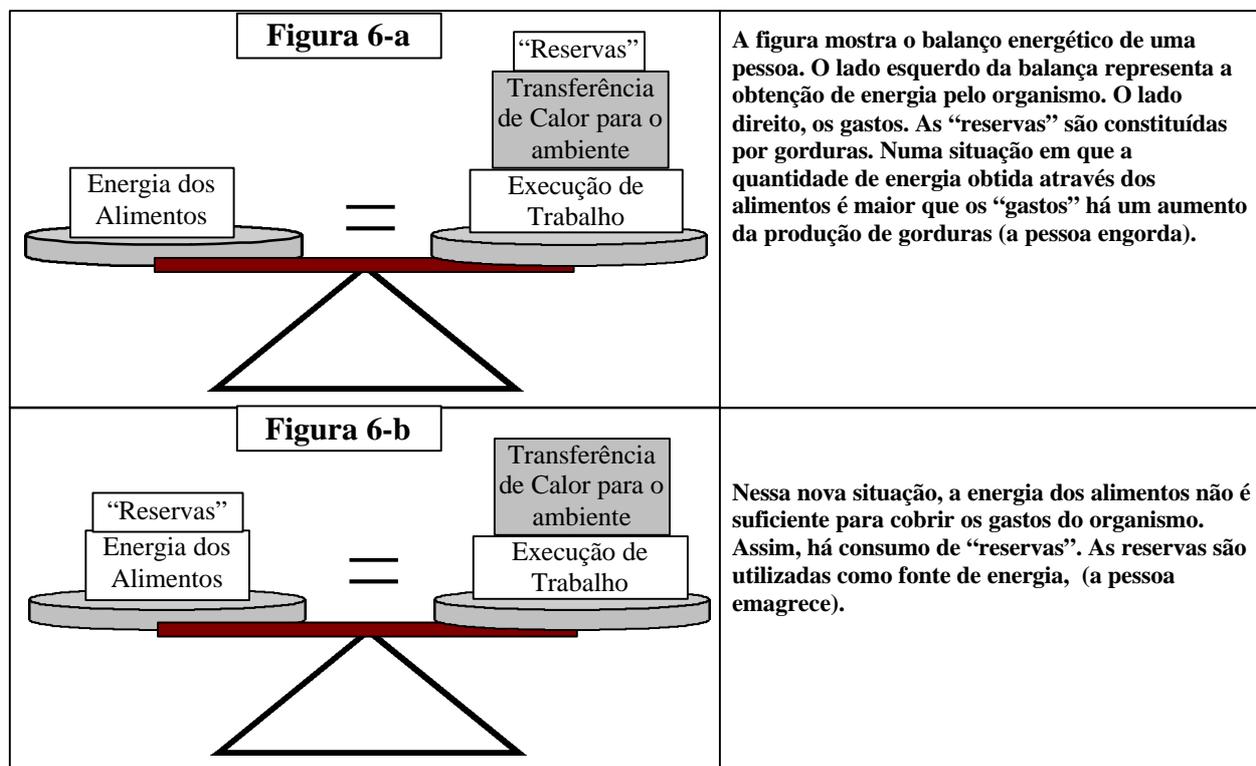
Vimos que a temperatura do corpo é usualmente superior à temperatura ambiente, o que significa que transferimos continuamente energia ao ambiente na forma de calor. Entretanto, cabe ainda compreender: quais são as circunstâncias que permitem que essa temperatura corporal se mantenha praticamente constante? Para investigar essa questão, voltemos à analogia com o ferro de solda ligado à tomada.

1. Ligue o ferro de solda à tomada e meça, em intervalos regulares de tempo, a temperatura da ponta do ferro. Anote os valores em uma tabela.
2. Procure justificar por que, depois de um certo tempo, a temperatura do ferro de solda se estabiliza. É importante saber que a taxa de energia fornecida pela rede elétrica ao ferro de solda é sempre a mesma. Esse valor é denominado potência do aparelho e, nesse caso, é de 100 W (100 Joules de energia fornecidos a cada segundo que passa).
3. Como se explica o fato de que uma mesma quantidade de energia, fornecida pela rede elétrica, provoque inicialmente o aumento da temperatura do aparelho e, depois, a mantenha constante?
4. O ferro de solda pode ser comparado ao corpo humano, no que se refere às trocas de energia que realiza com o meio? Em que se assemelham e em que se diferenciam, nesse aspecto específico?
5. Qual é a condição para que a temperatura de um corpo qualquer (objeto ou ser vivo) se mantenha constante, ou seja, para que não varie à medida em que o tempo passa?

Leitura 8. O balanço energético: obtenção e gastos de energia

Como vimos, alguns nutrientes (especialmente os carboidratos e gorduras) são a fonte de energia que utilizamos para vários fins. Se energia não pode ser criada nem destruída, então em todos os processos ela é transferida e transformada mas a quantidade total de energia se conserva.

Boa parte da energia que provém dos alimentos é convertida em calor e dissipada para o ambiente. Falamos em balanço energético quando comparamos as quantidades de energia obtidas pelas transformações dos nutrientes e as quantidades de energia utilizadas nas várias atividades dos seres vivos.



Convite ao Raciocínio:

- 1) Como se comparam as dietas de um atleta e de uma pessoa que leva uma vida sedentária, isso é, que realiza poucos exercícios físicos?
- 2) Em 1840, Julius Robert Mayer (1814-1878), médico alemão fez uma viagem de navio a Java (Indonésia) e nela observa uma pequena diferença de coloração do sangue venoso dos marinheiros nos trópicos, em relação ao que apresentavam na Europa. O sangue venoso nas terras mais quentes dos trópicos apresentava-se com a coloração mais viva o que, naquela época, já era reconhecido como indicador de maior quantidade de oxigênio (em comparação, o sangue arterial é sempre de um vermelho mais vivo do que o sangue venoso).

Dessa observação, Mayer concluiu que o calor e o trabalho eram interconvertíveis, ambas formas distintas do que chamou de "força" (*Kraft*), que era indestrutível. As evidências e os argumentos apresentados por Mayer não foram bem recebidas pela comunidade científica, cujo mérito pela formulação pioneira do Princípio de Conservação de Energia só foram reconhecidas no fim de sua vida.

Com base em seus conhecimentos sobre os processos de respiração e transferência de calor ao meio, procure explicar por que o sangue venoso apresenta-se com maior quantidade de oxigênio quando estamos em locais quentes do que em ambientes a baixa temperatura.

Atividade II.4: O ambiente e a temperatura do corpo de alguns animais

A troca de energia entre um animal e seu ambiente é muito complexa. Os animais utilizam a energia obtida nos alimentos em muitas funções, entre elas o aquecimento do corpo. O corpo do animal troca calor com o meio através de diferentes processos físicos. Diferentes grupos de animais possuem diferentes mecanismos para controlar a temperatura de seus corpos. Existem três tipos de mecanismos de controle de temperatura: 1. mecanismos ligados ao comportamento, que envolvem a atividade física do animal, buscando abrigo e mudando seus hábitos em função de mudanças no ambiente; 2. mecanismos ligados a processos internos, tais como mudanças na circulação sanguínea, perda de água para o ambiente, etc.; 3. mecanismos que envolvem as transformações químicas dos alimentos que ingerimos, que podem ser mais rápidas ou mais lentas.

De acordo com os mecanismos envolvidos no controle da temperatura corporal, os animais são denominados **heterotermos** (heteros = irregular, variável) ou **homeotermos** (homos = constante, igual) . Os heterotermos são animais cuja temperatura corporal é variável, podendo ser maior ou menor, dependendo da temperatura ambiente. Os homeotermos são aqueles em que a temperatura do corpo é constante e independente da temperatura do ambiente.

A tabela abaixo mostra dois valores de temperatura ambiente e as correspondentes temperaturas do corpo de alguns animais. Analise-a com cuidado e procure responder, junto a seu grupo, as questões que se seguem.

ANIMAL	TEMPERATURA AMBIENTE	
	30° C	10° C
Homem	36° C	36° C
Canguru	33-36° C	33-36° C
Preguiça	28° C	28° C
Cachorro	36-38° C	36-38° C
Galinha	40° C	40° C
Lagarto	31° C	11° C
Sapo	31° C	11° C
Cavalo-Marinho	31° C	11° C

Discuta com seus colegas:

- 1- Qual a principal diferença entre os animais presentes na tabela, quando comparamos a temperatura de seus corpos com a temperatura do ambiente?
- 2- Quais animais apresentam temperatura constante em relação ao ambiente?
- 3- Quais animais apresentam temperaturas variáveis conforme o ambiente?
- 4- Os animais que conseguem manter a temperatura do corpo constante são chamados homeotermos. Quais os animais da tabela pertencem a este grupo?
- 5- Que outros animais homeotermos você conhece?
- 6- Os animais em que ocorre variação da temperatura conforme a temperatura ambiente são chamados heterotermos. Que animais da tabela pertencem a este grupo?
- 7- Que outros animais heterotermos você conhece?

Leitura 9. A Heterotermia e as adaptações dos lagartos

Com exceção das aves e dos mamíferos, todos os outros animais são heterotermos. Isto não significa que eles não consigam controlar a temperatura do seu corpo, pois são capazes de procurar locais quentes ou frios no ambiente, de acordo com suas necessidades. Porém, eles não possuem os mecanismos empregados pelos animais homeotermos para manter a temperatura do corpo praticamente constante.

Os lagartos apresentam mecanismos espetaculares de regulação da temperatura do corpo (termo regulação). Quem nunca viu um lagarto tomando Sol? Uma das observações mais interessantes foi feita no Peru, a 5.000 metros de altitude. Um lagarto que tinha sido coletado numa fria manhã, onde a temperatura estava próxima de 0°C, apresentava uma temperatura corporal de 31°C. No decorrer do dia, os lagartos retiravam-se da influência direta do Sol, e num dia bem quente, escondiam-se sob rochas ou em fendas. Alguns lagartos podem alterar a quantidade de radiação solar absorvida por seu corpo, colocando-se frontalmente em direção aos raios do sol, como indica a figura. Outras espécies são capazes ainda de alterar a forma de seu corpo, aproximando ou afastando suas costelas, e ainda aumentando ou diminuindo a superfície do corpo exposta ao Sol.

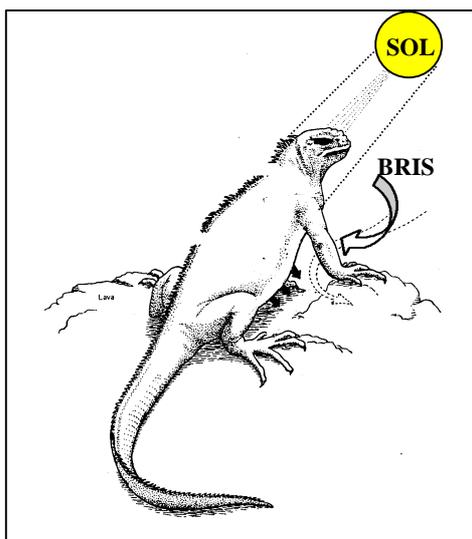


Figura 7: O iguana marinho das Ilhas de Galápagos coloca-se na direção dos raios do Sol, de maneira a diminuir a porção do corpo diretamente exposta à radiação solar. Assim, sua cabeça e uma parte de seu peito fazem sombra no resto do corpo. Além disso, o animal pode levantar o corpo de modo a expor seu ventre à brisa do oceano. A intensa circulação sanguínea nessa região de seu corpo protegida do Sol favorece a dissipação do calor.

Convite ao raciocínio:

O corpo de um lagarto se esquentava de dentro para fora ou de fora para dentro?

Leitura 10. Homeotermia: a busca de equilíbrio entre produção e consumo de energia com temperatura corporal constante

A temperatura do corpo de um animal é determinada pelo equilíbrio entre a produção e a perda de calor. Se elas forem iguais, a temperatura do corpo não irá aumentar nem diminuir. Quando a produção de calor é maior que a perda, a temperatura do corpo tende a aumentar pelo contrário, quando a perda é maior do que a produção, a temperatura tende a diminuir. Os organismos dos homeotermos possuem sistemas que regulam a perda e a produção de calor de modo a manter a temperatura constante.

A temperatura normal do corpo humano varia no máximo 0,6° C. Quando uma pessoa

está exposta a um tempo extremamente frio ou quente, ou ainda, quando está submetida a emoções muito intensas, o sistema nervoso é estimulado a aumentar ou diminuir a temperatura do corpo.

Vimos anteriormente que parte da energia presente nos alimentos é transformada em calor nos tecidos que compõem nosso corpo. Órgãos como fígado, coração, cérebro e as glândulas produzem uma grande quantidade de calor. Isso faz com que a temperatura desses órgãos seja ligeiramente mais elevada do que a da maioria dos outros tecidos de nosso corpo.

O trabalho muscular é também acompanhado da produção de calor extra: para cada *1 cal* de energia convertida em trabalho mecânico, o organismo libera cerca de *4 cal* na forma de calor. Por isso, quando fazemos exercícios ou quando corremos, sentimos mais calor e transpiramos intensamente. O calor produzido pelo corpo precisa ser removido para o ambiente continuamente.

Discuta com seus colegas :

1. Vamos considerar duas pessoas: uma delas morando no pólo norte (um esquimó) e a outra no deserto do Saara (um beduíno). Em sua opinião, a temperatura interna de seus corpos são iguais ou diferentes? Explique!
2. O desconforto que sentimos nos dias frios deve-se a uma diminuição de temperatura de nossa pele e das extremidades de nosso corpo tais como nossas mãos e nossos pés. Uma das maneiras de diminuir esse desconforto é esfregar as mãos e os braços, bater os pés, ou mesmo movimentar-se rapidamente de um lado para o outro. É fácil perceber que a temperatura de nossa pele realmente aumenta nessas circunstâncias. Mas será que essas atividades aumentam a temperatura interna de nosso corpo? Faça qualquer uma das atividades sugeridas e utilize um termômetro para verificar se a temperatura interna de seu corpo eleva-se ou não. Anote seus resultados e tente justificá-los.

Leitura 11. Vantagens e desvantagens da Homeotermia

Se você observar o comportamento de um lagarto ao longo de um dia, verá que, em boa parte do tempo, sua atividade consiste em buscar condições favoráveis para a manutenção da temperatura corporal. Os lagartos, assim como todos os **heterotermos** (nos quais se incluem os **peixes, répteis, anfíbios e insetos**), dependem do calor do ambiente para manterem seus corpos aquecidos. Por isso, sua temperatura corporal varia bastante, sendo normalmente próxima da temperatura do ambiente que o cerca. Isso limita as possibilidades desses animais em manterem-se ativos quando as temperaturas ambientes são muito baixas.

Os animais **homeotermos** (todos os **mamíferos e aves**), pelo contrário, podem manter as temperaturas corpóreas mesmo quando a radiação solar não está disponível ou quando é insuficiente para aquecê-lo. Assim, a homeotermia permite a esses animais uma maior liberdade no ambiente físico, especialmente a baixas temperaturas.

Entretanto, há um custo a pagar por esse benefício. Os animais homeotermos retiram boa parte da energia obtida pela alimentação para manter suas temperaturas corporais a níveis geralmente maiores do que a temperatura ambiente. Assim sendo, a homeotermia requer suprimento extra de alimentos.

Discuta com seus colegas:

1. O corpo de um homem (animal homeotermo) se esquenta de dentro para fora ou de fora para dentro? Compare a resposta em relação à do lagarto.
2. Um estudo comparativo da dieta alimentar de salamandras (uma espécie de lagarto) e aves do mesmo tamanho mostrou que o consumo de energia das salamandras correspondia a apenas 1/5 do consumo de energia das aves. Entretanto, o aumento anual da biomassa das salamandras foi igual ao das aves. Como você explica esses resultados?

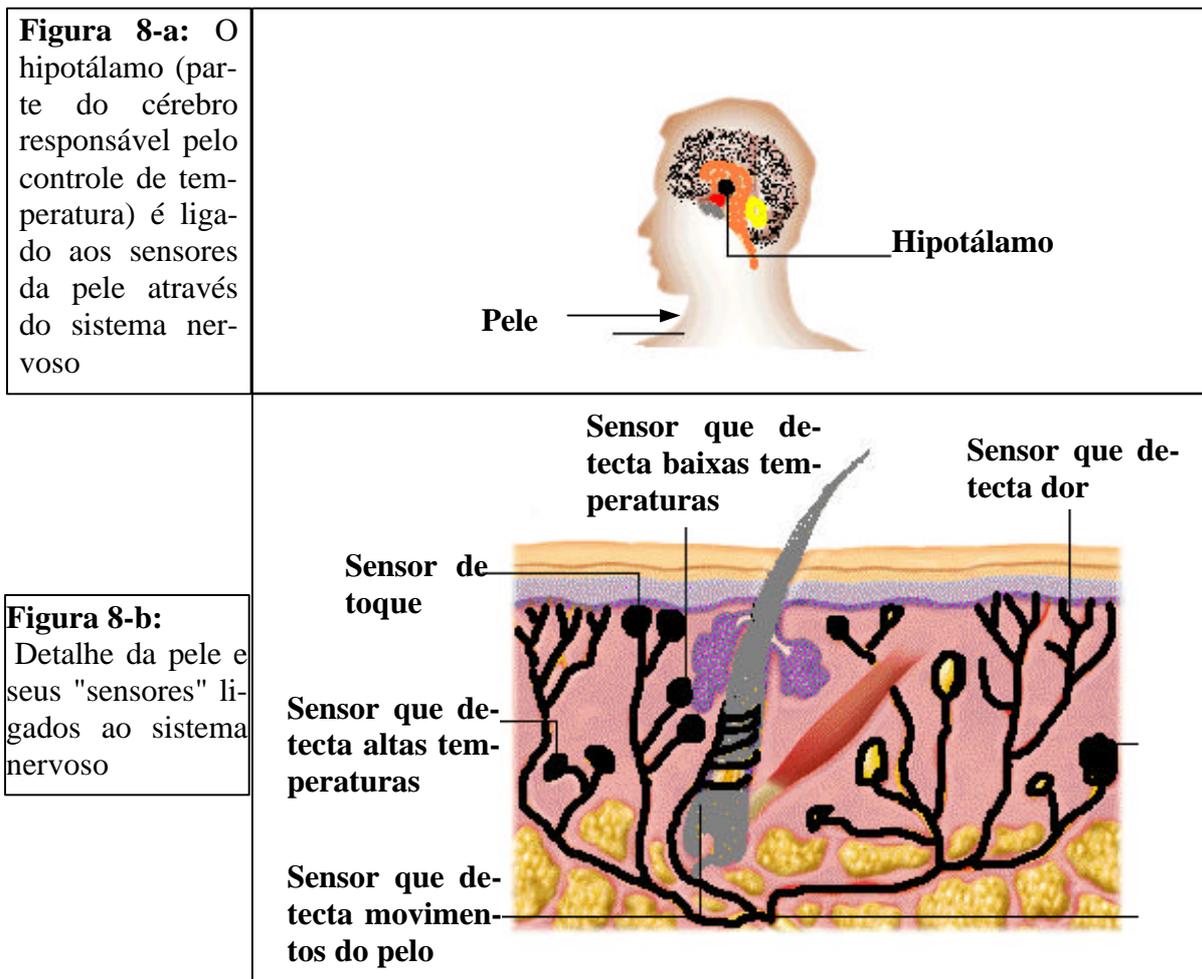
PARTE III - OS PROCESSOS DE CONTROLE DA TEMPERATURA CORPORAL

A partir das explorações, investigações e reflexões que desenvolvemos nas atividades anteriores podemos retirar diversas conclusões. Sabemos agora que a temperatura interna de nossos corpos mantêm-se, normalmente, acima da temperatura ambiente. Sabemos, também, que isso é possível graças a uma contínua transformação de energia que ocorre no interior de nossos corpos. Assim, parte da energia dos alimentos que ingerimos transforma-se em calor. Esse calor, que mantém constante a temperatura interna de nossos corpos, é continuamente transferido ao ambiente que nos cerca.

Para regular a temperatura corporal, os animais homeotermos, entre os quais nos incluímos, controlam dois processos: 1. a quantidade de calor produzido pelas transformações químicas dos nutrientes (especialmente carboidratos e gorduras); 2. a quantidade de calor transferido para o ambiente. Se a temperatura corporal começa a diminuir, aumentamos a produção de calor e reduzimos as perdas; se a temperatura corporal começa a aumentar, fazemos o inverso. Nessa última parte de nosso estudo, veremos como é possível controlar esses processos.

Leitura 12. O Sistema de Regulação Térmica no corpo humano

Nosso sistema nervoso tem a capacidade de perceber e controlar as mudanças da temperatura do corpo, de modo a não haver grandes alterações. Observe na figura abaixo a localização dos nossos sensores de regulação da temperatura:



Toda vez que o sangue mais frio, vindo da superfície do corpo, passa pela região dos controladores da temperatura, há uma estimulação dos mecanismos de produção de calor.

Atividade III.1. Investigando os Processos de Transferência de Calor: condução e convecção

Sempre que entre dois corpos houver uma diferença de temperatura, a energia será transferida na forma de calor. Essa transferência de calor pode ocorrer através dos materiais, mas acontece de modo diferenciado se o material é sólido ou não (como a água ou o ar). Ocorrem por meio de mudanças de estado físico, como a evaporação da água. Podem ainda ocorrer através do espaço vazio.

O exame desses vários processos é importante para sabermos como podemos evitar ou favorecer a transferência de calor do nosso corpo para o ambiente, de maneira a manter a temperatura corporal constante.

Vimos, anteriormente, que podemos retardar a transmissão de calor de uma batata quente para sua vizinhança, simplesmente enrolando esse objeto em um pedaço de tecido. Dissemos, naquela ocasião, que o tecido funciona como um “isolante térmico”, pois tende a se opor à tendência natural de resfriamento da batata e o conseqüente aquecimento do ar e dos outros corpos que estão próximos a ela. Nesta atividade, iremos investigar um pouco mais esse efeito de “isolamento térmico”, ao discutir os fenômenos de condução e convecção de calor.

Exploração 1: Bons condutores e maus condutores de calor.

- 1) Em nosso dia a dia lidamos com materiais que são bons condutores de calor e outros que são maus condutores de calor (também chamados “isolantes térmicos”). Sabemos que os metais, em geral, são bons condutores de calor. Mas a pergunta é: **será que todos os metais conduzem o calor igualmente?**

- 2) Para verificar se há diferenças na condução do calor em metais diferentes, vamos utilizar dois arames de materiais diferentes e mesma espessura. Coloque na chama de uma lamparina uma das pontas dos dois arames. Segure a outra ponta com as mãos. As duas mãos se aquecem ao mesmo tempo? Descreva e explique as sensações de calor após certo tempo.

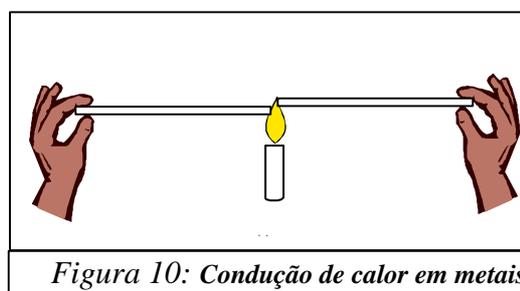


Figura 10: Condução de calor em metais

- 3) Para avaliar se a água é boa ou má condutora de calor, faça o seguinte: coloque água gelada no fundo de um tubo de ensaio. Seque o tubo e, com o auxílio de um grampo de madeira, aqueça sua parte superior, mantendo-o inclinado (figura 11- a). Espere até que a água na parte superior do tubo comece a ferver. Apague a lamparina e meça a temperatura da camada de água mais próxima à superfície (figura 11- b). Logo em seguida, meça a temperatura da água no fundo do tubo (figura 11- c). Você esperava obter diferenças de temperatura tão grandes entre as camadas de água mais próximas à superfície e aquelas mais próximas ao fundo do tubo? O que essas diferenças nos permitem dizer sobre a condução de calor pela água?

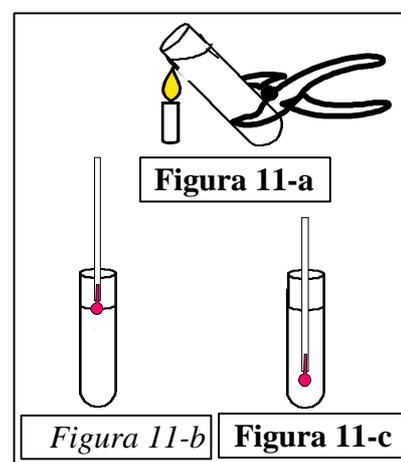


Figura 11-a

Figura 11-b

Figura 11-c

Exploração 2: A transmissão de calor na água

Vimos, há pouco, que a água praticamente não conduz calor da extremidade superior para a extremidade inferior do tubo de ensaio (figura 12- a). Entretanto, sabemos que se o aquecimento fosse feito na parte inferior, o calor seria transmitido de forma eficiente, até a parte superior do tubo (veja figura 12- b). A explicação para essa aparente contradição é simples. Poderemos compreendê-la a partir das experiências abaixo.

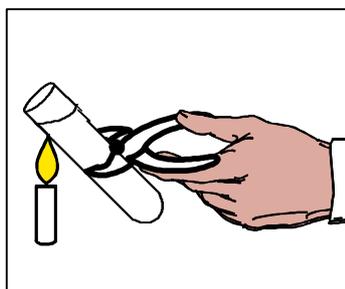


Figura 12-a: Nesse caso, o calor proveniente da chama não é transmitido por toda a água.

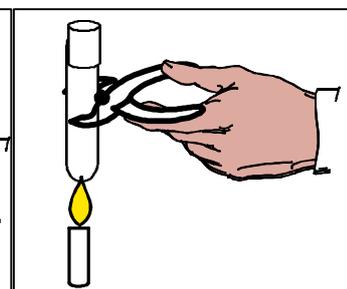


Figura 12-b: Nesse caso, o calor proveniente da chama é distribuído por toda a água.

1. Colocamos um ebulidor no interior de um recipiente transparente e parcialmente cheio de água. O recipiente deve ser razoavelmente profundo, pois a base do ebulidor não deverá ser colocada sobre o fundo do recipiente. A base do ebulidor deve ser colocada sobre um copo emborcado no fundo do recipiente grande. Além disso, vamos misturar à água um pouco de serragem. Observe com atenção o movimento da água que entra diretamente em contato com nosso aquecedor elétrico. Procure explicar o que acontece.

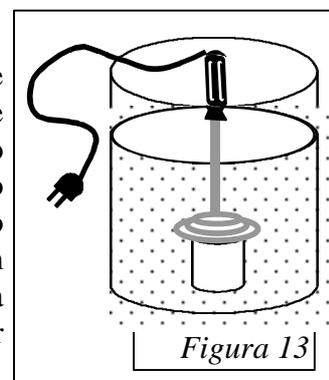


Figura 13

2. Ao observar os movimentos indicados pela serragem, podemos ver claramente que a água aquecida pelo ebulidor move-se em sentido ascendente. Assim que uma camada de água é aquecida e sobe, novas camadas de água mais frias entram em contato direto com o aquecedor. Os movimentos ascendentes das massas de água quente e os movimentos circulares e descendentes das massas de água fria são chamados genericamente de “Correntes de convecção” e foram representados pelas setas mostradas na figura 14. Esses movimentos ocorrem devido ao fato de que camadas de água mais frias são mais densas do que as camadas de água quente.

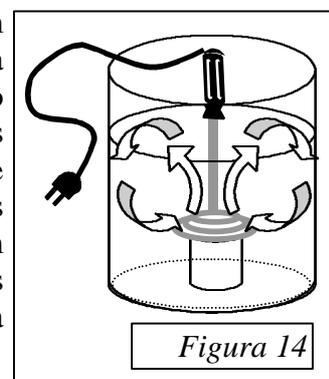


Figura 14

3. Uma exploração adicional e bastante interessante é a seguinte: vamos colocar algumas gotas de tinta na superfície do líquido e esperar que a tinta seja misturada à água. Você consegue explicar por que a tinta não atingiu as camadas de água situadas abaixo do nível definido pela base do ebulidor? Tais camadas de água participam das “correntes de convecção” mediante as quais o calor proveniente do ebulidor é transmitido à água? Explique!
4. Discuta com seu grupo: como se diferenciam as transmissões de calor por condução e por convecção?
5. Procure argumentar ainda: o ar que nos circunda é um bom ou mau condutor de calor?

Exploração 3:

Assim como a água, o ar transmite o calor principalmente por convecção. Para visualizar as correntes de convecção no ar, faça o seguinte experimento utilizando um aquecedor de ambientes e um retro-projetor, como na figura 15.

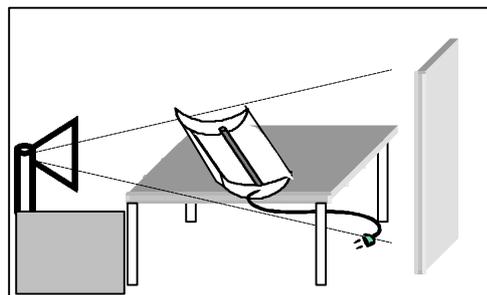


Figura 15

1. A montagem mostra um aquecedor de ambientes colocado em frente à luz de um retro-projetor na direção de uma parede.

Através dessa montagem, poderemos observar o movimento do ar, quando aquecido pelo aparelho. Descreva tais movimentos.

2. A partir da montagem anterior, descreva o que deve acontecer com ar em torno de nosso corpo.
3. Você já deve ter notado que algumas aves eriçam suas penas quando o tempo está frio (veja figura 16). Explique esse procedimento sabendo que o ar é um péssimo condutor de calor (conduz calor de forma ainda menos eficiente que a água).
4. Quando venta, sentimos frio. Meça a temperatura do ar da sala e depois repita a medida de frente a um ventilador. As medidas indicadas pelo termômetro nas duas situações são as mesmas? Como você explica esse resultado.
5. Os isolantes térmicos contêm fibras (lã de vidro, cobertores, pêlos de animais) ou cavidades (cortiça, isopor). Como eles reduzem as transferências de calor?

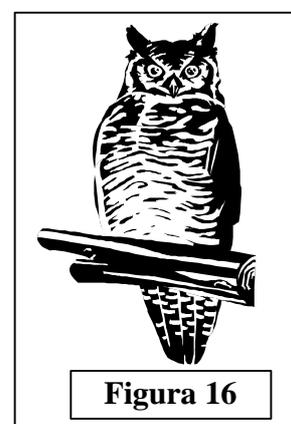


Figura 16

Pêlos, penas e gorduras: o isolamento térmico de mamíferos e aves

Os animais homeotermos vivem geralmente sob condições nas quais as temperaturas ambientes são menores que as temperaturas corpóreas. Desse modo, a perda de calor para o ambiente é mais comum do que o ganho de calor. O controle da perda de calor é uma função muito importante para os animais homeotermos. As aves e os mamíferos empregam a superfície do corpo (plumagem ou pelagem) de modo muito efetivo como isolante contra a perda de calor. O ar é um isolante efetivo contra a perda de calor por condução. Pêlos e penas podem aprisionar uma certa quantidade de ar, que varia quando as penas ou pêlos estão arrepiados ou não. O “arrepio” consiste em mudanças nos ângulos que os pêlos ou as penas fazem com a pele, sendo ativado pelo sistema nervoso como resposta a uma redução de temperatura corporal.

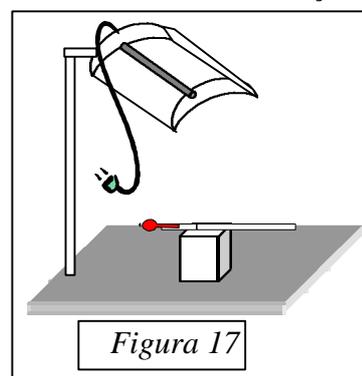
Pense, discuta e responda:

- 1- O que se pode dizer sobre o isolamento térmico da pele dos animais heterotermos (anfíbios, répteis e peixes) quando comparado com os homeotermos (mamíferos e aves)? Tente explicar essa diferença.

Atividade III.2. Investigando os Processos de Transferência de Calor: radiação

Exploração 1: A transmissão de calor através da radiação

- 1- Na montagem da figura 17 utilizamos o aquecedor de ambiente colocado acima de um termômetro, cujo bulbo foi envolvido por um papel preto. Após alguns minutos, observe e anote a marcação do termômetro.



tempo de aquecimento = _____

Variação de temperatura do cubo (Δt) = _____

- 2- Experimente fechar bem os olhos e peça a um colega aproximar uma de suas mãos de uma parte qualquer de seu corpo, sem tocar em você. Procure descrever sua sensação e a forma como você foi capaz de determinar sobre que parte de seu corpo a mão de seu colega havia se aproximado.
- 3- Pense, discuta e responda: por que os animais (inclusive o homem) ficam encolhidos quando faz frio?

Leitura 13. As trocas de calor por radiação

Existe uma forma de transmissão de calor muito importante em situações em que o corpo quente e o corpo frio estão distantes um do outro. Essa forma de transmissão de calor chama-se “radiação” e ocorre independentemente da presença ou da ausência de um meio material que possa existir entre o corpo quente o corpo frio. É a radiação que permite ao Sol transmitir calor à Terra. Afinal, não há qualquer meio material no espaço entre esses dois astros. Por essa razão, o calor não poderia ser transmitido do Sol à Terra através da condução e muito menos através da convecção.

Nosso corpo não emite luz, como a luz vermelha do aquecedor elétrico com o qual lidamos nos itens anteriores, ou como o Sol, capaz de emitir luz de todas as cores. Isso não quer dizer que nosso corpo não emita energia na forma de radiação. A luz é apenas uma das muitas formas de radiação que podemos encontrar na natureza. Na verdade, a luz é a parte da radiação que consegue sensibilizar os nossos olhos. Há uma escala dentro da qual situamos todas as formas de radiação e que chamamos de “espectro”. Nessa escala, abaixo da luz vermelha, situa-se a chamada “radiação infravermelha”.

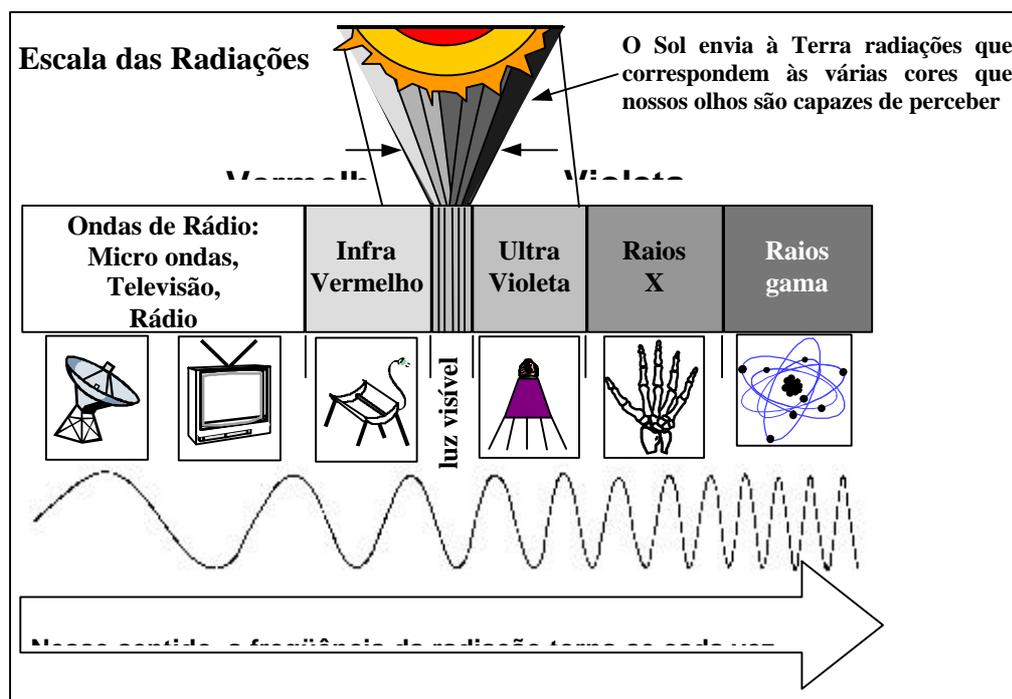


Figura 18: O espectro (escala) das Radiações

É essa a principal forma de radiação emitida pelos corpos incapazes de produzir luz visível, como é o caso do corpo dos animais e da maioria dos outros corpos existentes na Terra. Nosso corpo emite constantemente radiação infravermelha. A quantidade de radiação emitida depende da temperatura e da área total da superfície do corpo. Por isso, nos encolhemos quando faz frio, diminuindo a área da superfície irradiante.

Além disso, possuímos “sensores” em toda a extensão da pele com os quais somos capazes de detectar esse tipo de radiação. Baseando-se nessas informações você seria capaz de explicar como foi possível descobrir a posição da mão de seu colega, quando você estava de olhos fechados, tal como foi solicitado no item anterior?

O controle da circulação sanguínea periférica

Uma das principais respostas do sistema de controle de temperatura corporal nos homeotermos consiste em alterar o padrão de fluxo de sangue nos vasos superficiais da pele. Qualquer aumento da temperatura corporal resulta na dilatação dos vasos sanguíneos periféricos. Como resultado, haverá maior circulação de sangue para as partes superficiais do corpo, e a temperatura da pele torna-se praticamente igual à temperatura interna. A transferência de calor para o meio é favorecida por meio da radiação (pois a temperatura da pele se eleva) e da convecção.

Pelo contrário, quando a temperatura corporal diminui (como resultado da diminuição da temperatura ambiente) há uma constrição dos vasos superficiais da pele. O fluxo de sangue para as partes superficiais do corpo é profundamente reduzido. A temperatura da pele diminui e ela passa a ter uma condutibilidade térmica muito reduzida, comparável à da cortiça.

Atividade III.3. Investigando os Processos de Transferência de Calor: evaporação

- 1- Molhe com água a pele de uma de suas mãos. Agite-a vigorosamente no ar. Observe que a água vai se evaporando (sua mão seca em pouco tempo). Você consegue explicar a razão pela qual a parte molhada pela água apresenta uma sensação de “frescor”?
- 2- Amarre um pequeno pedaço de algodão sobre o bulbo do termômetro. Molhe-o com água e verifique se isso afeta o valor de sua temperatura.
 - a) Você consegue explicar o que aconteceu?
 - b) O resultado seria diferente caso introduzíssemos completamente o bulbo com algodão em um recipiente contendo água?
 - c) É possível relacionar o comportamento do termômetro nesse item com a sensação provocada pelo umedecimento da pele realizado no item 1?
- 3- Na base dos bulbos de cada pêlo que encontramos em nosso corpo há glândulas chamadas “sudoríparas” que são capazes de secretar um líquido constituído por água e sais minerais. Esse líquido conhecido como “suor” é depositado sobre a pele toda vez que nossos corpos precisam perder calor de forma mais intensa para o ambiente que nos cerca. Você é capaz de relacionar a produção de suor com a sensação de frescor sentida no item 1? O efeito refrescante do suor é alterado se estivermos em um lugar no qual o ar esteja em circulação? Explique!
- 4- Você já reparou que urinamos mais nos dias frios de inverno? Como você explica esse fato?
- 5- Você certamente já experimentou expirar o ar proveniente de seus pulmões diretamente sobre uma superfície de vidro. O vidro, que normalmente encontra-se a uma temperatura inferior à temperatura interna de nosso corpo, resfria o vapor de água misturado ao ar expirado pelos pulmões, ao mesmo tempo em que é aquecido por esse. Alguns animais, como os cães por exemplo, não possuem glândulas sudoríparas nem depositam suor diretamente sobre a pele. Ainda, assim, a transformação de água do estado líquido para o estado de vapor é um importante mecanismo utilizado por esses animais para transmitir calor ao ambiente que o cerca. Baseando-se nesses dados, você é capaz de explicar por que os cães ficam ofegantes e chegam até a pingar água pela língua quando realizam atividades físicas rapidamente?

Atividade III.4. Suportando altas temperaturas: um desafio aos mamíferos

A regulação de temperatura corpórea é mais eficaz em situações em que o animal é mais quente que o seu ambiente. Em ambientes muito quentes, a diferença de temperatura

pode ser revertida (o ambiente é mais quente do que o organismo). Essa condição cria sérios problemas para os animais.

- 1) Qual é o sentido do fluxo de calor, por condução, radiação e convecção quando a temperatura ambiente é maior do que a temperatura do animal? O que essa transferência de calor poderia acarretar ao organismo?
- 2) Como, então, conseguimos sobreviver quando a temperatura ambiente é superior à temperatura de nossa pele?

Atividade III.5. Propriedades térmicas da água e sua importância para a regulação da temperatura dos animais.

Vimos que a transpiração de nossos corpos e a “ofegação” dos cães são mecanismos utilizados na transmissão de calor ao ambiente. Esses mecanismos são importantes nas situações em que aumenta a necessidade dos animais em transmitir calor ao ambiente que os cerca. Essa não é a única situação em que a água participa das trocas de calor e dos mecanismos de controle da temperatura dos corpos dos animais. A água possui uma série de propriedades que a torna especialmente importante nesse aspecto. Nesta atividade, vamos conhecer um pouco mais, algumas dessas propriedades “especiais” da água.

Sabemos que, normalmente, precisamos fornecer energia a uma dada massa de água para provocar a elevação de sua temperatura. Essa energia é maior ou menor do que aquela necessária para transformar a água do estado líquido para o estado de vapor?

1. Nesta exploração faremos uma comparação entre a quantidade de energia envolvidas no aquecimento da água com a quantidade de energia envolvida na mudança de estado dessa substância, da fase líquida para a fase de vapor.

- a) Para desenvolvermos nossa investigação, vamos aquecer 1.000 gramas de água introduzindo um aquecedor elétrico no interior de um becker. Meça a temperatura inicial da água, a temperatura final atingida quando ela começa a ferver e o tempo necessário para o aquecimento. Lembre-se que, assim que a água entrar em ebulição, sua temperatura deixará de variar (procure comprovar esse fato).

temperatura inicial da água = _____ temperatura de ebulição = _____

tempo gasto para a água começar a ferver = _____

- b) Uma vez iniciado o processo de ebulição, manteremos o aquecedor ligado **durante o mesmo tempo** que foi necessário para que a água atingisse a temperatura de ebulição. Comparando a quantidade de água inicial com a quantidade de água que restou no recipiente, vamos avaliar o volume e a massa de água evaporada durante o processo de ebulição.

Massa evaporada = _____

- c) Agora temos todos os dados de que necessitamos vamos poder comparar os processos de aquecimento e ebulição. A energia fornecida pelo ebullidor durante o aquecimento é igual à energia fornecida por esse aparelho durante o processo de ebulição. Afinal, o aparelho ficou ligado durante o mesmo intervalo de tempo nos dois processos! A energia fornecida para o aquecimento produziu uma variação de temperatura igual a _____ °C e foi

distribuída por _____ gramas de água. A energia fornecida durante a ebulição não provocou nenhuma variação de temperatura e permitiu a transformação de apenas _____ gramas de água, do estado líquido para o estado de vapor. Baseando-se nesses dados você diria que as quantidades de energia envolvidas na transformação líquido→vapor são desprezíveis se comparadas com as quantidades de energia envolvidas no processo de aquecimento da água? Explique!

- d) Os dados que obtivemos nessa atividade permitem-nos dizer se o suor é ou não um mecanismo eficiente para absorver calor proveniente do nosso corpo? Explique!

Questões para discussão:

- 1- A temperatura do ar nos desertos de areia gira em torno dos 40 °C durante o dia e pode atingir vários graus negativos durante a noite. Nas regiões em que vivemos, entretanto, não existem mudanças tão grandes de temperatura. Esse fato pode estar relacionado a maior presença de água no estado líquido nas regiões em que vivemos?
- 2- Já sabemos o que ocorrerá com a temperatura de uma pedra recém retirada de dentro das brasas de uma fogueira que é mergulhada em água fria. A transferência de calor da pedra para a água faz com que a temperatura da pedra diminua e a temperatura da água aumente até esses dois corpos tenham atingido o equilíbrio térmico. A elevação de temperatura da água poderá ser facilmente percebida, independente da quantidade de água fria dentro da qual a pedra em brasa for inserida? Explique!
- 3- Quando compramos um novo peixe e vamos introduzi-lo no interior de um aquário, é importante manter o animal, por algumas horas, dentro do recipiente plástico no qual ele foi transportado. Esse recipiente deve ser, então, introduzido dentro da água do aquário até que esses corpos possam atingir o equilíbrio térmico. Sabendo que a temperatura interna do corpo do peixes é geralmente igual à temperatura da água em que ele se encontra e que esses animais são muito sensíveis às variações de temperatura, você consegue justificar o procedimento acima descrito?

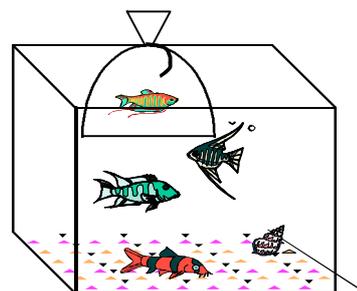


Figura 20

As temperaturas corporais não podem ser superiores a determinados limites, pois acima deles as proteínas se degradam e com elas as próprias células. Se a temperatura ambiente é mais alta do que a do organismo, o processo de transferência de calor tende a se reverter – nesse caso, o organismo estaria absorvendo calor do ambiente e iria fatalmente morrer.

O único processo capaz de reverter o sentido do fluxo de calor nessas condições é a evaporação. Ele é muito eficiente, dada a grande quantidade de calor que 1 g de água absorve ao evaporar (cerca de 540 cal por grama!). Entretanto, isso provoca uma perda contínua de água e sais minerais pelo organismo. Nessas circunstâncias, é fundamental a reposição de água e sais.

Atividade III.6. Adaptações dos animais a condições extremas: contando alguns “casos”

Caso 1- O que uma mãe não faz por um filho: as migrações das baleias

Um aspecto fundamental das adaptações biológicas dos animais é o fato de visarem não apenas o bem estar de um indivíduo, mas sobretudo a sobrevivência de sua população, envolvendo especialmente cuidados com a procriação e a prole (filhotes).

Um belo exemplo nos é fornecido pela migração das baleias. As baleias passam o verão nas águas polares ou sub-polares, onde se alimentam de “krill” e outros crustáceos igualmente abundantes naquelas águas frias e produtivas. No fim do verão, elas começam a migração para as águas tropicais ou subtropicais, onde as fêmeas dão a luz aos filhotes e os alimentam por alguns meses antes de realizar a migração reversa. Os filhotes são desmamados quando chegam às águas polares, seus redutos de verão, já fortes e bem desenvolvidos.

O dado surpreendente é que as baleias adultas praticamente não comem durante os quase oito meses fora das águas polares. A energia necessária para a longa viagem de 9 mil quilômetros é obtida com a voraz alimentação durante os quatro meses em que permanecem nos mares polares. Essa energia é convertida em abundantes estoques de óleo e gordura que compõem cerca da metade do peso corporal de um adulto.

A questão que se coloca é: qual seria a vantagem da migração? Sendo os adultos tão grandes e bem isolados pela gordura de seus corpos, não teriam dificuldades em suportar o inverno sem alimento disponível. Por que então despender tanta energia numa viagem tão longa?

A vantagem da migração está nas maiores chances de sobrevivência dos recém-nascidos que, embora relativamente grandes não têm uma camada isolante de gordura. A alimentação com o rico e gordo leite da mãe em águas mornas dos trópicos, garante aos filhotes o crescimento e a formação de gorduras e óleos essenciais à sobrevivência da espécie nas águas geladas dos pólos.

Convite ao Raciocínio:

- 1) Discuta os custos da migração das baleias, para um indivíduo adulto, do ponto de vista energético.
- 2) Suponha que uma baleia não migrasse e tivesse seus filhotes nas águas polares. Quais seriam as desvantagens desse procedimento para os filhotes? E para os indivíduos adultos?
- 3) Procure saber sobre a presença das baleias no Atol de Abrolhos (sul da Bahia), e a importância desses lugares para a preservação das espécies. Em quais meses do ano as baleias ficam em Abrolhos?

Caso 2- Morrendo de calor no Ártico: um caso de extremo isolamento

Para se ter uma idéia do isolamento térmico de alguns dos animais que habitam as regiões polares, vamos conhecer alguns casos de “hipertermia” de focas do norte, durante o verão. A hipertermia é o excessivo aquecimento do organismo em valores acima dos valores aceitáveis para seu correto funcionamento. A hipertermia leve fatalmente à morte.

As focas do Norte são animais grandes (os machos chegam a pesar 250 kg) e vivem nas regiões do Ártico. Ao contrário da maioria das focas, possuem pêlos, além de uma extensa camada de gordura, comum a todos os tipos de focas. Durante o verão, abrigam-se nas Ilhas Pribilof (latitude 57° Norte), onde se reproduzem. A temperatura do ar, durante o dia, atinge cerca de 10°C. Essa temperatura é o limite superior que as focas conseguem suportar! Qualquer atividade extra realizada em terra faz com que as focas fiquem ofegantes, levantem e movimentem suas nadadeiras posteriores (que contêm muitas glândulas produtoras de suor). Se a temperatura do ar chegar a 12°C, os animais começarão a mover-se para a água.

A atividade forçada na terra pode produzir super-aquecimento letal. Os caçadores profissionais de focas arrebanham os machos solteiros da área que ficam isolados do grupo e os conduzem para o interior da ilha, obrigando-os a uma intensa caminhada. No processo, os animais não resistem e morrem, prostrados pelo calor. Sua temperatura corpórea chega a atingir, nesses casos, 42,2°C, muito acima de 37,5°C (valor normal de temperatura das focas).

As focas do norte procuram ilhas do Mar do Norte para a procriação porque nesses locais os verões são suficientemente frios para permitir sua atividade. Esse é um exemplo raro de características fisiológicas que estabelecem limites geográficos para as distribuições dos animais.

Convite ao Raciocínio:

- 1) Sendo a temperatura corporal das focas próxima a 37°C, explique por que elas ficam estressadas com temperaturas do ar em torno de 10°C.
- 2) Por que a atividade física é letal para as focas nessas condições?
- 3) Suponha que trouxéssemos um filhote de foca do norte, recém-nascido, para uma região temperada ou tropical, colocando-a em um tanque com água refrigerada. Suponha ainda que se vá aumentando gradualmente as temperaturas da água do tanque em que vivem as focas, até cerca de 25°C. Você acha possível a sobrevivência das focas nessas condições? Discuta com seus colegas e justifique.

Caso 3: Febre – aliado ou inimigo?

- 1- O que acontece com a temperatura do seu corpo quando você está com febre?
- 2- O que você sente quando está com febre?
- 3- Faça uma pesquisa com sua mãe ou com seu médico sobre os procedimentos adequados para diminuir a febre.
- 4- Porque a febre é considerada "perigosa"?

Febre significa elevação da temperatura do corpo além da faixa da normalidade. Isto ocorre quando temos alguma infecção como gripe, sarampo, inflamação na garganta ou ouvido, etc. A febre é em geral causada por substâncias produzidas pelos agentes infecciosos. Estas substâncias atuam em nosso termostato (o hipotálamo) fazendo com que ele trabalhe em seu nível mais alto de temperatura. Quando isso acontece, todos os mecanismos de produção de calor de nosso corpo são ativados e a temperatura corporal aumenta. O papel da febre para os mamíferos ainda não está bem claro. Parece que quando a temperatura do corpo aumenta, os mecanismos de defesa de nosso corpo são estimulados. Porém, temperatura corpóreas muito elevadas, podem causar danos irreversíveis nos tecidos cerebrais.

Caso 4: Insolação - como ocorre, o que fazer, como evitar

A insolação ocorre quando nos expomos a longos períodos ao sol. Tais condições podem ainda se agravar se forem associadas à atividade física intensa, podendo provocar os seguintes sintomas: 1. Produção excessiva de suor; 2. pele quente e vermelha; 2. pulsação rápida e intensa; 3. tonturas e eventuais desmaios. Esses processos são provocados pela hipertermia (*hiper*=acima + *termia*=temperatura), ou seja, o aumento da temperatura corpórea.

- 1- Explique a insolação a partir do balanço energético do organismo. Para isso, considere a quantidade de radiação solar absorvida pelo corpo, a quantidade de calor produzida pela atividade muscular e as perdas de calor por evaporação, convecção e radiação.
- 2- Uma vez que a circulação sanguínea periférica é aumentada, procure explicar as tonturas e desmaios, a partir do fluxo sanguíneo no cérebro.
- 3- Tente explicar os sintomas da insolação, considerando as tentativas do organismo em fazer aumentar a dissipação de calor.

Quando ocorre a insolação perdemos muitos líquidos e com eles sais minerais. O principal problema da insolação ocorre em função da perda de sais minerais juntamente com a água resultante da transpiração. Além de desidratados, o controle da temperatura corporal pelo sistema nervoso central é perturbado. A redução da concentração de sais minerais decorrente da insolação pode provocar, além dos sintomas acima, náuseas, câibras e eventuais falhas na circulação.

Os primeiros socorros a uma pessoa com insolação envolvem: 1. a redução da temperatura corporal, molhando-se a pele com água ou com álcool (não se deve utilizar gelo); 2. reposição imediata de água e sais minerais.

Crianças e pessoas idosas são mais susceptíveis à insolação porque seus sistemas de regulação de temperatura são menos eficientes. Pessoas obesas também têm maior risco por que seus corpos dissipam calor de modo menos eficiente.

- 4- O que podemos fazer para evitar a insolação?

Relação Preliminar de Conteúdos Conceituais da Unidade Temática “Regulação Térmica nos Seres Vivos”(versão: agosto/98)

1. As sensações de quente e frio, que temos graças ao tato, dependem da temperatura de nossa própria pele. Assim, o tato **não** nos fornece um indicador seguro do estado térmico (ou temperatura) de um objeto ou do ambiente em que nos encontramos.
2. Para a medida da temperatura utilizamos termômetros. Os termômetros comuns baseiam-se na dilatação dos materiais provocada pelo aquecimento.
3. Outros tipos de termômetros funcionam tomando alguma propriedade do material que é modificada quando ele absorve (ou emite) energia (calor).
4. Um objeto pode ser uma fonte de calor sempre que for colocado em contato com outro objeto a uma temperatura mais baixa. O quente e o frio são relativos: o mais quente pode ser entendido como menos frio e vice-versa.
5. Os processos de aquecimento e resfriamento são recíprocos e provocados pelo mesmo e único processo de transferência de energia (calor).
6. Calor é a transferência de energia de um material a temperatura mais alta para outro a temperatura mais baixa. A transferência de energia cessa assim que os materiais atingem a mesma temperatura.
7. Quando isolados, dois ou mais objetos em contato térmico acabam atingindo o equilíbrio térmico. O equilíbrio térmico é o estado final, caracterizado pela igualdade de suas temperaturas. Isso nem sempre acontece, pois os objetos freqüentemente trocam energia com outros objetos de sua vizinhança.
8. A transferência de energia térmica do nosso corpo para o meio é tão mais intensa quanto maior for a diferença entre as temperaturas. Essa taxa de transferência de energia está relacionada com as sensações de calor ou de frio.
9. As diferentes sensações ao tato provocada por diferentes materiais em equilíbrio térmico se devem às propriedades desses materiais em conduzir o calor de maneira mais ou menos eficiente (bons e maus condutores de calor).
10. A temperatura de um objeto não depende do material de que é constituído. Todos os corpos em contato térmico tendem a trocar energia até atingirem uma mesma temperatura. Entretanto, para elevar ou abaixar a temperatura de diferentes materiais é preciso transferir diferentes quantidades de energia (alguns materiais sofrem grandes elevações de temperatura com pouca quantidade de energia, outros precisam grandes quantidades de energia para aquecerem).
11. A temperatura de um objeto não depende de seu volume ou de sua massa. Entretanto, para elevar sua temperatura é preciso transferir quantidades diferentes de energia, dependendo da quantidade do material que é aquecido.
12. Calor é processo, ligado à transferência de energia. Temperatura é uma grandeza que informa o estado do sistema.
13. Como nossa temperatura corporal é usualmente maior do que a temperatura ambiente, transferimos continuamente energia para o ambiente na forma de calor.
14. Os animais necessitam energia para manter sua temperatura corporal. Essa energia é obtida através do metabolismo de proteínas, gorduras e açúcares contidos nos alimentos.
15. A energia não pode ser criada ou destruída. Em todos os processos a energia é transferida e transformada, mas a quantidade total de energia é conservada. A transferência de energia está associada a toda transformação e define os limites daquilo que pode ou não ocorrer.
16. balanço energético do organismo consiste em comparar a energia obtida através do metabolismo e a energia despendida (na manutenção da temperatura corporal, na

Anexo 2 – Relação Preliminar dos Conteúdos Conceituais da Unidade

- realização de trabalho e nas funções orgânicas vitais). Se o balanço for positivo, o organismo produz novas substâncias que armazenam energia (glicogênios e gorduras); se for negativo, o organismo consome seus próprios tecidos (uma vez esgotadas as fontes de alimento disponíveis).
17. Sabemos qual é a quantidade de energia liberada pelo metabolismo através da medida da quantidade de oxigênio consumido pelo organismo. (não apresentar cálculos mas apenas a evidência).
 18. A atividade física tende a aumentar a temperatura corporal. Isso ocorre por que os músculos ativos metabolizam alimentos mais rapidamente do que músculos em repouso, cedendo mais calor no processo. Quando a temperatura corporal é baixa, são ativados os músculos esqueléticos em movimentos involuntários (tremor), de forma a aumentar a quantidade de calor produzido pelo metabolismo.
 19. Tanto em máquinas como em organismos vivos, não é possível converter toda energia química em trabalho útil. Parte dessa energia é sempre convertida em calor. Nos animais homotermos, essa energia dissipada é fundamental para manter a temperatura corporal constante.
 20. Para regular a temperatura corporal, o organismo controla dois processos: 1. A quantidade de calor produzido pelo metabolismo; 2. A quantidade de calor transferido para o ambiente. Se a temperatura é baixa, aumentamos a produção de calor e reduzimos as perdas; se a temperatura corporal aumenta fazemos o inverso.
 21. Quanto maior a taxa de transferência de calor para o meio, maior será a taxa de produção de calor pelo metabolismo (temos necessidade de alimentar mais no inverno do que no verão).
 22. controle da quantidade de calor produzido pelo metabolismo é feito através de hormônios, excretados pela glândula tireóide, que aceleram o metabolismo. A secreção desses hormônios é comandado pelo sistema nervoso central. Além disso, esse sistema está conectado a uma série de sensores de temperatura distribuídos ao longo de nosso corpo, especialmente em sua superfície e nos membros.
 23. A energia pode ser transferida através de todos os materiais e ainda através do espaço vazio. Uma vez que os materiais diferem na taxa na qual a energia é transferida, a transferência de energia pode ser controlada.
 24. A transferência de calor se dá por quatro processos: a condução, a convecção, a radiação e a evaporação.
 25. Quando a temperatura ambiente é baixa, a pele fica mais seca (diminuindo perdas por evaporação) e a circulação dos vasos superficiais da pele é diminuída. Dessa forma, a temperatura da pele diminui e o tecido se converte num bom isolante térmico (comparável à cortiça).
 26. As perdas por convecção e evaporação são aceleradas com o movimento do ar em torno de nosso corpo.
 27. As perdas por radiação são inevitáveis. Porém, é possível reduzi-las diminuindo a superfície corporal livre (fazemos isso mantendo-nos encolhidos).
 28. É possível obter uma quantidade de calor extra através do atrito das mãos com a pele.
 29. Os pelos, penas e gorduras são formas de adaptação dos organismos à perda de calor para o ambiente (no caso de animais do deserto os pelos espessos em algumas partes do organismo protegem da absorção de radiação do ambiente).

30. Quando submetidos a altas temperaturas, transpiramos. O suor é mecanismo de regulação de temperatura ativado pelas glândulas sudoríferas. O mecanismo funciona bem quando o ar é seco, mas isso significa necessidade de reposição de água e sais minerais.
31. A perda de calor por evaporação é o único processo de que dispomos para manter a temperatura corporal quando a temperatura ambiente é maior do que a do nosso corpo.
32. A água é importante para a regulação da temperatura corporal por duas razões: 1. sofre pequenas variações de temperatura mesmo quando absorve ou emite grandes quantidades de calor; 2. absorve grande quantidade de calor ao evaporar.
33. Os processos de adaptação vital são formas de adequação dos organismos ao ambiente. Ocorrem ao longo do tempo, como resultado de variações individuais nas espécies, que podem ou não serem adequadas às mudanças no ambiente e serem ou não transmitidas geneticamente aos seus descendentes.
34. Os organismos homotermos têm vantagens sobre os heterotermos ao depender menos intensamente das condições ambientais para aquecer seus corpos, mas isso envolve um custo: as taxas metabólicas de aves e mamíferos são bem maiores do que a de anfíbios e répteis. Assim sendo, necessitam mais alimento para sobreviver.
35. A manutenção da temperatura corporal é de fundamental importância para os homotermos. Abaixo de certo valor, os processos químicos e metabólicos fundamentais à vida se fazem extremamente lentos ou se detêm; acima de determinado valor, as proteínas se alteram.

Anexo 3 – Mapa de Conceitos da Unidade

Nível I: Lógica dos Atributos: calor e frio como entidades opostas; temperatura como propriedade específica dos materiais e seres

Elementos do tipo INTRA (propriedades e atributos)

- ⇒ Calor e frio como atributos absolutos e dicotômicos (um material pode ser frio ou quente, impedir ou permitir a passagem do calor ou do frio).
- ⇒ Temperatura: mescla de calor e frio.
- ⇒ A pele como um “isolante térmico” - algo que separa o frio e o calor

Elementos do tipo INTER (regularidades, relações e transformações)

- ⇒ Mudanças no nosso corpo quando sentimos frio: arrepiamos, trememos, ficamos encolhidos.
- ⇒ Mudanças no nosso corpo quando sentimos calor: transpiramos, ficamos moles, a pele fica quente.
- ⇒ Animais de “sangue quente” não dependem do ambiente para ter sua temperatura específica (hipótese da independência).

Elementos do tipo TRANS (modelos, teorias, sistemas de crenças)

- ⇒ Cada corpo tem a sua temperatura; os materiais e corpos atraem ou conservam o calor ou o frio, conforme sua natureza.
- ⇒ Sensualismo: a realidade física pode ser compreendida a partir de nossas sensações e percepções
- ⇒ Realismo ingênuo: as coisas são como são e como as percebemos. Confusão entre o geral e o normativo, entre o factual e o necessário. Pensamento dominado por pseudonecessidades.

Nível II: Início de quantificação: calor e frio como termos relativos

Como nos mantemos aquecidos? Estabelecendo hipóteses e relações

Elementos do tipo INTRA (propriedades e atributos)

- ⇒ Materiais têm propriedade de estarem mais quentes ou mais frios. Essa propriedade denomina-se temperatura, sendo medida através de termômetros.
- ⇒ Condutores e isolantes térmicos (materiais que deixam ou impedem a passagem do calor).
- ⇒ Elementos de descrição, muitas vezes justapostos e indiferenciados: sangue, vasos, glândulas sudoríferas, poros, hipotálamo.

Elementos do tipo INTER (regularidades, relações e transformações)

- ⇒ O que muda no nosso corpo quando a temperatura ambiente é alta ou baixa: foco na produção de calor, na transferência de calor para o ambiente ou ainda na distribuição de calor pelo corpo, sem integração entre esses elementos.
- ⇒ Equilíbrio térmico (igualdade de temperatura) como resultado final de processo de trocas de calor entre dois corpos.
- ⇒ Relações semi-quantitativas com assimilação recíproca das noções de quente e frio.
- ⇒ As sensações térmicas são manifestações da intensidade das trocas de calor entre o corpo e o ambiente.
- ⇒ O ambiente provoca mudanças no organismo, mas o organismo não modifica o ambiente.

Elementos do tipo TRANS (modelos, teorias, sistemas de crenças)

- ⇒ O calor é medido pela variação da temperatura; a temperatura é a medida do calor de um corpo.
- ⇒ Existência de mecanismos que permitem alterar a produção ou as trocas de calor com o meio e, assim, manter a temperatura corporal.
- ⇒ Energia como combustível que se consome nas atividades físicas.
- ⇒ Finalismo: nos organismos, algo se modifica para obter um efeito desejado.
- ⇒ Causalidade eficiente: calor e energia como agentes de transformações.

Nível III: Os processos de Regulação Térmica e o Balanço Energético dos Organismos

Elementos do tipo INTRA (propriedades e atributos)

- ⇒ Temperatura como medida do estado inicial ou final de um sistema, subordinado a transformações (processos de transferências de energia).
- ⇒ Circulação sanguínea e capilares periféricos; sistema nervoso central, regulação hormonal: elementos integrados numa totalidade.
- ⇒ Diferença de temperatura entre sistema e vizinhança, determinando a intensidade dos fluxos de energia.

Elementos do tipo INTER (regularidades, relações e transformações)

- ⇒ Como o calor se propaga – formas de evitar ou favorecer trocas de calor entre sistemas a diferentes temperaturas
- ⇒ Diferenciação entre equilíbrio térmico e equilíbrio nas trocas de energia entre sistema e vizinhança.
- ⇒ Se o fluxo total de energia entre sistema e vizinhança for nulo, a temperatura do sistema será constante, se fluxo é positivo, a temperatura tende a aumentar e se negativo a temperatura tende a diminuir.

Elementos do tipo TRANS (modelos, teorias, sistemas de crenças)

- ⇒ Quando e por que o equilíbrio térmico não ocorre
- ⇒ Vantagens e desvantagens da homeotermia: custo energético na manutenção da temperatura corporal e adaptação a ambientes.
- ⇒ Calor como forma de energia; energia como quantidade que se conserva nas transformações e transferências.
- ⇒ Sistema de crenças: causalidade eficiente e causalidade formal (especificar)

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

1a. aula - Dia 07/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0:00 a 1:00:00	Pré Teste	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento de idéias prévias dos estudantes. Problematização, criação de um contexto de investigação, levantamento de hipóteses e busca de informações. Instrumento a ser retomado posteriormente. Registro dos pontos de partida dos estudantes. 	Trabalho individual	Alunos respondem, em silêncio às questões do pré teste. Solicitam presença da professora em poucos momentos. Demoram mais tempo do que o previsto para o término da atividade, dando sinais de envolvimento com a atividade.
1:00 a 1:30	Pré Teste (questões nº 1 a 3)	<ul style="list-style-type: none"> Confronto de idéias e opiniões, enriquecimento das hipóteses iniciais. 	Trabalho em grupos	Grupo procura responder a todas as perguntas, buscando estabelecer consensos coletivos. Entretanto, em alguns momentos, fazem queixas: “não sei; não estudei isso ainda.” Demoram, em média, cerca de 10 minutos em cada questão.

2a. aula - Dia 10/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0:00 a 1:00:00	Pré Teste (questões nº 4 a 8)	<ul style="list-style-type: none"> Confronto de idéias e opiniões, enriquecimento das hipóteses iniciais 	Trabalho em grupos	Discussão calorosa na questão 7. Grupo utiliza expressões como “equilíbrio térmico” e “transferências de calor” de modo adequado. Entretanto, ao contrário de nossas expectativas e talvez pela extensão do teste, o trabalho em grupos não representou grandes avanços nem aumentou o interesse dos estudantes pela unidade.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

1:00 a 1:30	Atividade I.1 – Sensações térmicas ao tato; Termômetros	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiência do tato na avaliação de temperaturas; • Familiarização com o termômetros e princípio de funcionamento. 	Trabalho em grupos	Alunos mostram-se curiosos com as medidas; a atividade é realizada em tom de brincadeira, sem que os aspectos centrais e potencialmente perturbadores sejam considerados enquanto problemas (por que a mão é “mais fria” do que a temperatura corporal? por que isso varia de pessoa para pessoa?). Grupo chega a um resultado satisfatório: quente e frio são relativos mas não destacam mecanismos de interação responsáveis pelas sensações térmicas.
-------------	---	---	--------------------	--

3a. aula - Dia 14/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0:00 a 1:20:00	Atividade I.1 – Sensações térmicas ao tato (0 a 30 min); Termômetros (30 min ao final)	<ul style="list-style-type: none"> • Elicitar idéias prévias dos estudantes; colocá-las em evidência e examiná-las em conjunto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grupos são solicitados a expressar suas conclusões para a classe. Professora atua como mediadora, solicitando mais clareza na apresentação das idéias. • Ao final do trabalho com termoscópios e termômetros, alunos fazem leitura coletiva do texto 1. 	Estudantes interpretam as mudanças no termoscópio de líquido (dilatação, transformações no ar e no líquido durante o aquecimento) e sistematizam as diferenças entre os termômetros clínico e os comuns de laboratório. Quanto às interações térmicas, alguns estudantes parecem desconcertados, sem saber aonde a professora quer chegar. Ao final da aula, Cris manifesta sua insatisfação dizendo que estão falando a mesma coisa o tempo todo. Entretanto, há uma evolução nos enunciados, inicialmente muito centrados em atributos e que se deslocam gradualmente para eventos e princípios de maior generalidade. Problemas ligados à gestão da atividade parecem decorrer da diversidade dos níveis de partida dos estudantes.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

4a. aula - Dia 1706/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 26 min	Ativ. I.2. Os agasalhos nos aquecem?	<ul style="list-style-type: none"> • Propor situações potencialmente perturbadoras aos esquemas de quente/ frio enquanto qualidades opostas que expressam as sensações. • Dar condições para que alunos façam medidas de temperaturas e interpretem seus resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alunos trabalham em pequenos grupos, assistidos pela professora que percorre todas as mesas. 	Atividade não é vista como problemática para os alunos do grupo, posto que suas previsões foram confirmadas pela experiência. Porém, podemos ver que alguns significados estão longe de estarem consolidados, como havíamos interpretado. Alunos brincam e ficam admirados com variações da coluna do termômetro colocado alternadamente no gelo e na batata quente.
26 a 50 min	Atividade I.3. O frio pode ser quente?	<ul style="list-style-type: none"> • Propor situação potencialmente perturbadora para a contraposição entre “fontes de calor” e “fontes de frio”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alunos trabalham em pequenos grupos, assistidos pela professora que percorre todas as mesas. 	Tarefa conduzida inicialmente de modo rotineiro. Conclusão do grupo: <i>“a coluna de líquido se elevou porque houve uma transferência de calor, já que o termômetro passou para um ambiente mais quente do que estava anteriormente”</i> .
50 a 1:15 min	Atividade I.2	<ul style="list-style-type: none"> • Conferir significados atribuídos à atividade; construir novas representações através de discurso compartilhado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Professora solicita que os grupos relatem suas conclusões e provoca novas representações, indicando lacunas ou contradições. 	Novos significados ao “isolamento térmico” para além da negação do contato com o ambiente. Professora insiste na comparação entre as duas situações (flaneta em torno da batata quente e do gelo), o que propicia surgimento de novidades.
1:15 a 1:25	Atividade I.3.	<ul style="list-style-type: none"> • Conferir significados atribuídos à atividade; construir novas representações através de discurso compartilhado 	<ul style="list-style-type: none"> • Professora solicita que grupos relatem suas conclusões, indicando lacunas ou contradições. • Leitura coletiva e comentada do texto 2. • Questões como tarefa para casa. 	Professora indica o sentido da tarefa, propicia a explicitação dos pontos de vista dos estudantes, contrapõe diferentes interpretações aos fenômenos (And e Cri), dando repercussão ao enunciado da aluna.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

5a. aula - Dia 21/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 13 min	Questões 1 e 2 (tarefa para casa)	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar entendimentos construídos nas aulas anteriores • Tomada de consciência das diferenças entre representações da ciência e formas de entendimento expressas em linguagem comum. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grupos discutem o que fizeram individualmente em casa, com a tarefa de expressar conclusões coletivas. 	Boas sínteses na discussão, mas tempo excessivo para a realização da tarefa.
13 a 23 min	Questões 1 e 2 do texto 2.	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar entendimentos construídos nas aulas anteriores • Tomada de consciência das diferenças entre representações da ciência e formas de entendimento expressas em linguagem comum. • Expectativa: vencer as diferenças de representações, interesses e formas de entendimento entre os diferentes grupos 	<ul style="list-style-type: none"> • Professora solicita de alguns alunos que relatem suas conclusões, confronta com as de outros colegas, problematiza e tenta estabelecer formas de conhecimento compartilhado por todo o grupo. 	Boas conclusões, consolidação de significados desenvolvidos anteriormente. Entretanto, poucos estudantes mostram envolvimento com a dinâmica da aula. Pela primeira vez, fala-se de temperatura da pele, diferenciando-a da temperatura corporal.
23 a 34 min	Atividade I.4 - Calor temperatura e equilíbrio térmico	<ul style="list-style-type: none"> • Através de uma situação mais próxima, estabelecer leis gerais (transferências de calor entre sistemas a diferentes temperaturas resultando em situação final de equilíbrio térmico) 	<ul style="list-style-type: none"> • Professora realiza atividade com participação de toda a turma. Interrompe coleta de dados, passando à atividade seguinte. 	Novos observáveis (interações mediadas pela placa que separa os dois ambientes). Medidas de temperatura anotadas no quadro a cada três minutos.
34 min a 1:12 min	Atividade I.5	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbação à idéia de objetos propensos ao frio ou ao calor. • Generalização do esquema de equilíbrio térmico desenvolvido anteriormente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alunos fazem atividade nos grupos com assistência da professora que passa em todas as mesas. 	Alunos desconfiam das medidas dos termômetros e apresentam dificuldades em compor uma explicação coerente para as sensações provocadas por diferentes materiais em equilíbrio térmico. Mais uma vez, Cri se irrita com a professora, que dá suporte ao grupo, mas espera que resolvam o problema apresentado: “ela não responde, que raiva!”.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

6a. aula - Dia 24/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 18 min	Atividade I.4	<ul style="list-style-type: none"> • Discutir e interpretar dados da atividade anterior, de modo a desenvolver os conceitos de calor , temperatura e equilíbrio térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retomada das discussões com toda a turma 	<p>Maior participação de alunos que até então permaneciam alheios às discussões.</p>
18 a 23 min	Texto 3 e comentários	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar novos significados 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinâmica de leitura: a cada parágrafo, um grupo lê e outro grupo é solicitado a comentar seu conteúdo. 	<p>Tentativa de envolver toda a turma e de desenvolver um conhecimento compartilhado por todos. Atenção especial aos processos de leitura de textos didáticos de ciências: “todo mudo entendeu? Alguém tem dúvida? Por que atingiu o equilíbrio térmico? Porque não vai haver mais transferência de calor?”</p>
23 a 38:	Atividade I.5.	<ul style="list-style-type: none"> • Propor situação potencialmente perturbadora à crença de que as temperaturas dos objetos variam conforme os materiais de que são constituídos. • Reinterpretar diferentes sensações ao tato como resultado de interações térmicas entre nosso corpo e os objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão com toda a turma com retomada de dados e a partir das interpretações de cada grupo. 	<p>Boa discussão com a classe. Ao final, consciente das dificuldades que a tarefa apresentava e das diferenças entre as formas de entendimento dos alunos, a professora propõe que voltem aos grupos para escrever uma síntese final.</p>
38 a 56	Atividade I.5.	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar novos significados; permitir que alunos que estavam com dificuldade possam contar com ajuda dos colegas ao compor suas explicações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão no grupo para elaboração de uma síntese do trabalho. 	<p>Estratégia correta no grupo que acompanhamos: Dan expressa suas dificuldades e seus colegas ajudam-na a superar o impasse. Depois disso, conversam sobre assuntos diversos. No restante da turma, há dispersão em alguns grupos enquanto outros finalizam o trabalho.</p>

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

56 a 1:01	Atividade I.5.	<ul style="list-style-type: none"> Resgatar o compromisso do grupo com a síntese da atividade. Avaliar formas de entendimento que iam sendo forçadas. 	<ul style="list-style-type: none"> Leitura em voz alta das conclusões de cada grupo à atividade I.5 	<p>Textos produzidos nos grupos bastante diferenciados entre si. No entanto, foram apenas lidos por todos, com poucas discussões.</p> <p>Os textos deveriam ter sido recolhidos e devolvidos na aula seguinte com comentários, perguntas e questionamentos.</p>
1:01 a 1:26	Atividade I.6 – Diferenciação entre calor e temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer diferenciações e integrações entre conceitos de calor e temperatura. Apresentar situações potencialmente perturbadoras. 	<ul style="list-style-type: none"> Coleta de dados com toda a turma, destacando o sentido das medidas efetuadas e solicitando dos alunos uma previsão dos resultados.. 	<p>Últimas medidas acompanhadas com pouca atenção pelos alunos, em função do adiantado da hora.</p>

7a. aula - Dia 28/06/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
O a 37 min	Atividade I.6. Diferenciação entre calor e temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Propor situações potencialmente perturbadoras, e confrontá-las com proposições gerais sobre calor e temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> Retomada dos dados da Atividade I.6. Discussão e comentários com toda a turma. 	<p>Conduta beta predominante: as diferenças de temperatura do óleo e da água se devem às diferentes capacidades desses materiais em atrair e conduzir o calor. Grande insatisfação dos alunos quanto às relações entre os conceitos de calor e temperatura.</p>
37 a 45 min	Leitura 5	<ul style="list-style-type: none"> Tentativa de estabelecimento de significados abrangentes e generalizáveis aos conceitos de calor e temperatura.. 	<ul style="list-style-type: none"> Leitura comentada 	<p>Não resolve o problema. Turma agitada.</p>
45 a 1:00 min	Diferenciação entre calor e temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Tentativa de estabelecimento de significados abrangentes e generalizáveis aos conceitos de calor e temperatura. 	<p>Tarefa individual: compor uma síntese a partir das discussões e leituras.</p>	<p>Alunos não conseguem realizar a tarefa e alguns fazem queixas, solicitando da professora o ponto no quadro.</p>
1:00 a 1:30	Teste 1 (Avaliação da Aprendizagem)	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar o desenvolvimento conceitual dos estudantes 	<p>Teste individual escrito.</p>	<p>Alunos respondem a todas as questões no tempo previsto.</p>

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

8a. aula - Dia 02/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 1:30 min	Quente X Frio, Calor, Temperatura, Energia, Transformações, Conservação e Degradação da Energia.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Síntese dos aspectos centrais da primeira parte: conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico; 2. Ampliar a abrangência e aplicação desses conceitos 3. Iniciar uma discussão a propósito do conceito de energia (transformações, armazenamento, conservação e degradação) 4. Indicar problemas e questões em aberto no estudo da temática de forma a aumentar o engajamento dos alunos com a unidade, assim como destacar a relevância científica dos conteúdos da unidade. 5. Iniciar um trabalho de reflexão sobre os processos de aprendizagem vivenciados pelo grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retomada do curso após recesso de julho. • Aula predominantemente expositiva, buscando elementos de diálogo, de modo a responder dúvidas e ansiedades apresentadas pela turma no desenvolvimento da primeira parte da unidade. • Colocação de situações problemas; introdução de novas informações. 	<p>Surpresa: silêncio da turma (acompanharam sem tumulto, mas com contribuições de poucos alunos)</p> <p>Aula menos dialogada do que pretendíamos. A impressão que nos causou é a de que respondemos às necessidades e demandas da turma, o que gostariam que fosse feito.</p> <p>Muitas e diversificadas informações: parece que exageramos na medida...</p>

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

9ª aula - Dia 05/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 16 min	Correção prova	<ul style="list-style-type: none"> Tomada de consciência dos erros; rápida retomada de alguns conteúdos da unidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Comentários gerais sobre as questões mais polêmicas do teste. Abertura a novas situações a partir daquelas apresentadas. 	Discussão de novas situações a partir da questão ardósia X madeira; boa participação de Cam e Adr. Entretanto, Adr não se convence dos critérios de correção (não reconhece novidades).
20 a 56 min	Atividade I.7 (ferro de solda na água e no ar) Situações em que o Equilíbrio térmico não ocorre. Transferências de calor e fluxos de energia.	<ul style="list-style-type: none"> Uso de situação análoga. A própria situação de partida, entretanto, embora mais simples, apresenta-se enquanto situação potencialmente perturbadora. 	<ul style="list-style-type: none"> Atividade em pequenos grupos. 	Grupo: muita perda de tempo e discussão aspectos periféricos(35 a 45 min) Boa discussão a seguir (46 a 54). Polêmica: por que a temperatura do ferro de solda em água é muito inferior à que ele apresenta no ar?
57 a 1:13 min	Atividade I.7 Situações em que o Equilíbrio térmico não ocorre. Transferências de calor e fluxos de energia.	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer sínteses e generalizações. Busca de entendimentos compartilhados entre os estudantes. 	<ul style="list-style-type: none"> Discussão com toda a turma 	Retomada das discussões realizadas nos grupos. Boa participação da turma.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8^ª B – Junho / Agosto de 99

10^a aula - Dia 09/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 27 min	questões da pg. 15 calor, temperatura e equilíbrio térmico, condições para ocorrência do equilíbrio térmico.	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar conceitos e idéias desenvolvidos nas aulas anteriores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão com toda a turma das questões respondidas em casa. 	Discussão confusa, pouco produtiva, embora os problemas apresentados sejam muito relevantes: o calor do nosso corpo é constante?; “de onde vem o suprimento de energia do nosso corpo?”; “qual é a condição para equilíbrio térmico?”; “os sistemas tendem sempre ao equilíbrio?”; “quais são os sentidos dados à palavra equilíbrio no contexto dos organismos e suas relações com o ambiente?”.
27 a 1:06 min	Atividade II.1 – Temperatura da pele e do organismo; transferências de calor e produção de energia nos organismos.	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de novos observáveis e sua generalização. • Discussão de situações problemas 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade em pequenos grupos 	Muito tempo despendido nas medidas de temperaturas; orientação para a atividade pouco “objetiva”, com muitas questões, o que gerou dispersão nos grupos.
1:07 a 1:17 min	Atividade II.1	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de formas de conhecimento compartilhado • Confronto de idéias, problematização, identificação de lacunas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Relato dos grupos, discussão com toda a turma. 	Discussões interessantes sobre temperaturas corporais em ambientes a temperaturas superiores às nossas e acerca das diferenças individuais no que se refere às sensações de calor.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

11ª aula - Dia 12/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 42 min	Atividade II.1. questões 8 e 9 – de onde vem a energia que nos mantém aquecidos?	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar significados • Compreender e manipular informações apresentadas de maneira esquemática. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retomada com toda a turma das questões 8 e 9 da atividade. 	Ampliação e retomada de conceitos ligados às funções de nutrição: nutrientes, glicose; glicogênio, amidos e carboidratos. O que muda com mudanças de temperatura? Febre. Anexos de pele de vários grupos de animais. Muitos novos observáveis e sobretudo muitas relações a partir da constatação das diferenças entre temperaturas da pele e interior. Participação efetiva de alguns estudantes que até então permaneciam calados nas discussões coletivas (Rai, Van e Ann).
42 a 50 min	Leitura 7: mecanismos de regulação	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução de novas informações e coordenações necessárias para a realização de atividades em casa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitura em voz alta seguida por comentários em que a professora ia introduzindo novas informações e coordenações. 	Alunos mostram-se interessados. Aula expositiva, predominando discurso unívoco.
50 min a 1h06 min	Atividade II.2. Trabalho com rótulos de alimentos: o que fazemos com a energia que provém dos alimentos?	<ul style="list-style-type: none"> • Retomar conceitos centrais relativos à nutrição e nutrientes. Estabelecer contexto para construção da idéia de balanço energético nos organismos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade em grupos com assistência da professora e com tempo pré-determinado para conclusão da tarefa. 	Alunos discutem aspectos de nutrientes e nomes mais adequados para designá-los. Ficam depois em silêncio registrando suas conclusões.
1:06 ao final	Atividade II.2.	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de significados compartilhados. • Estabelecer necessidade de lidar com medida da quantidade de calor liberado pelas transformações dos nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão com toda a turma sobre aspectos e resultados da atividade. • Tarefa para casa: atividade II.4. 	Comparação do insumo energético dos vários alimentos. Questão: o que significa “caloria”? como medimos a quantidade de calor produzido?

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

12ª aula - Dia 16/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 23:30	Combustão do amendoim – medida da quantidade de calor; energia liberada pelos alimentos	<ul style="list-style-type: none"> Propor como problema a medida da quantidade de calor liberado pelos alimentos; 	Alunos realizam atividade prática nos grupos.	Estudantes demoram a realizar os procedimentos de medida de temperatura da água aquecida pela combustão do amendoim.
23:30 a 45:00	Quanta energia é liberada na queima do amendoim? Como se mede quantidade de calor?	<ul style="list-style-type: none"> Fornecer informações adicionais para compreensão da medida da quantidade de calor liberado. 	Aula expositiva (calorímetros, definição de caloria como unidade de medida) seguida por perguntas dirigidas ao grupo, de modo a conferir significados e estabelecer novas relações.	Aspectos centrais: 1. Não se pode medir energia diretamente, medimos energia através dos efeitos que ela provoca (nesse caso, através da variação de temperatura de uma certa quantidade de água); 2. O que aconteceu com o amendoim ao ser queimado é semelhante ao que ocorre com os alimentos em nosso corpo?
46:30 min a 57 min	O que acontece em nosso corpo quando praticamos esportes?	<ul style="list-style-type: none"> Coordenar informações a propósito de uma situação problema; conferir e discutir as várias concepções dos estudantes acerca das funções de nutrição. Construção da idéia de balanço energético nos organismos. 	Discussão com toda a turma: construção mediada, através de questões, comentários, pistas e síntese ao final do trabalho.	Professora procura resgatar participação dos alunos mais desatentos. Revisão das funções de nutrição, buscando integração entre digestão, respiração e circulação, ao lidar com o problema: o que muda quando fazemos exercícios físicos intensos?
57 min a 1:20	Atividade II.3 Equilíbrio dinâmico: Por que a temperatura corporal se mantém constante? (analogia com o ferro de solda)	<ul style="list-style-type: none"> Introdução de informações e de novo ciclo de perturbações e compensações. 	Experiência realizada com toda a turma. Questão central: porque a temperatura do ferro de solda aumenta a princípio e depois se mantém constante? Construção mediada, através de questões, comentários, pistas e síntese ao final do trabalho. Tarefa para casa: leituras 8 e atividade II.4.	Compreensão do problema do ferro de solda, associando temperatura à energia interna do sistema e introduzindo a idéia de fluxo de energia. Elementos comuns e diferenças entre objetos tomados como análogos (ferro de solda e corpo humano, no que se refere às trocas de energia com o meio).

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

13ª aula – dia 19/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
2 a 10 min	Leitura 8 Dietas alimentares e atividades físicas (balanço energético)	<ul style="list-style-type: none"> Retomar exercícios e leituras feitas em casa de modo a resgatar conceitos e idéias chave. 	Estudantes apresentam e discutem, com auxílio da professora, resposta dada à primeira questão proposta, em atividade realizada em casa.	Professora busca participação de outros alunos e grupos, normalmente mais apáticos. Recupera e introduz novas informações sobre nutrientes e metabolismo (amido, glicogênio, gorduras, fatores que interferem na taxa de metabolismo, diferenças individuais).
12 a 20 min	Balanço energético: a história de Julius Robert Mayer	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar conhecimentos na interpretação de uma situação problema (recontextualização). 	Leitura do texto e discussão da questão proposta com a classe	Professora dá eco à voz de alguns alunos, indica diferenças e promove debate, dando repercussão ao enunciado de um dos estudantes.
23 a 30 min	As adaptações da baleia: o que aconteceu primeiro?	<ul style="list-style-type: none"> Ampliar a participação e envolvimento da turma. Tratar de questões autênticas surgidas no âmbito do trabalho. 	Discussão com toda a turma sobre Atividade II.4. realizada em casa. Mudança do foco do problema a partir de pergunta original, formulada por uma aluna.	Conceito de adaptação biológica, a partir de questões colocadas por uma aluna, e parafraseadas pela professora: “o que muda primeiro: o organismo ou o ambiente? De onde provém a grossa camada de gordura das baleias? Como surgiu?”
30 a 40 min	Leitura 9 O que distingue homeotermos e heterotermos?	<ul style="list-style-type: none"> Ampliar a compreensão dos alunos sobre a importância da regulação térmica nos processos de adaptação biológica. 	Síntese leitura 9 – discussão com toda a classe – novos observáveis (anexos pele e sistema circulatório de vários grupos de animais)	Fisiologia comparada; as várias formas de adaptação dos organismos ao meio. Introdução de novos observáveis: anexos da pele e sistemas circulatório de diferentes grupos de animais.
40 a 54 min	Leitura 10 Homeotermos: equilíbrio entre produção e consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> Consolidação de significados, leitura e interpretação de texto; ênfase nos aspectos relativos à conservação e degradação da energia. 	<ul style="list-style-type: none"> Leitura em voz alta. Discussão das questões 1 e 2 	Degradação da energia: o trabalho muscular é também acompanhado da produção de calor extra: para cada 1 cal convertida em trabalho mecânico, o organismo libera 4 cal na forma de calor. Questão: o que aconteceria se o organismo fosse impedido de transferir calor ao meio?

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

54 a 1:12 min	Atividade III.1. Investigando transferências de calor (condução em metais, na água e no ar)	<ul style="list-style-type: none"> • Construção da noção de condutividade térmica; constatação de que o calor se propaga em fluidos “de uma outra forma”. 	Leitura texto introdutório; fala da professora destacando o sentido e a importância da atividade. Atividade prática realizada em grupos com auxílio da professora que percorre os grupos.	Questão central discutida no grupo: a água é um bom condutor de calor? Como o calor se propaga na água?
1:14 a 1:31	Demonstração: condutividade da água; diferenciação entre condução e convecção	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecimento de sínteses e de uma diferenciação entre propagação do calor por condução e por convecção (descontextualização). • Aplicação dos conceitos no contexto de estudo da unidade (recontextualização). 	Demonstração acompanhada por discussão com toda a turma	Retomada da discussão sobre a propagação de calor na água e no ar.
1:31 a 1:35	Transferências de calor por radiação	<ul style="list-style-type: none"> • Formas de propagação de calor: estabelecendo evidências e aplicando novas idéias no contexto de estudo da unidade. 	Evidência da propagação de calor por radiação (demonstração com toda a turma).	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade realizada ao final da aula. Alguns alunos mostram-se bastante curiosos; outros, agitados e impacientes.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

14ª aula – dia 23/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
2 a 12	Questões 4 e 5 pg. 27 (atividade III.1)	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar e consolidar nível entendimento dos alunos. 	Retomando pontos básicos da aula anterior.	Tentativa frustrada em elaborar uma explicação para a baixa condutividade térmica do ar. Estudantes a associam com a densidade do material, mas falta-lhes modelo de estrutura da matéria para que possam compor uma explicação satisfatória.
12 a 27:30	Questão 5 pg. 27 – ar é bom condutor de calor? Discussão sobre isolantes térmicos	<ul style="list-style-type: none"> Consolidar significados. 	Aplicar conceitos à compreensão dos problemas apresentados ao logo da unidade (movimentos de recontextualização).	Poucas novidades em relação ao que já havia sido realizado anteriormente.
27:30 a 52	Anexos de pele de vários grupos de animais	<ul style="list-style-type: none"> Articular estruturas (anexos de pele) e processos de regulação térmica, destacando os processos físicos envolvidos 	Aula expositiva com auxílio de atlas anatômicos. Novas informações e questões colocadas pela professora.	Ao final da exposição, boa discussão com a turma a propósito do papel da circulação sanguínea periférica na regulação térmica.
52 a 1:01:30	Controle da circulação sanguínea periférica	<ul style="list-style-type: none"> Consolidar novos significados e promover conhecimento compartilhado. 	Leitura comentada do texto “O controle da circulação sanguínea periférica”	
1:02 a 1:20	Radiação, tipos de radiação, importância da radiação na regulação de temperatura corporal	<ul style="list-style-type: none"> Leitura de esquemas abstratos; interpretação de novas informações. 	Leitura comentada do esquema à pg. 30. Síntese final da aula. Tarefa para casa: como a transpiração participa dos processos de transferência de calor para o ambiente?	Alunos fazem perguntas sobre raio X e raios gama.

ANEXO 5 – Estrutura das Aulas do Curso “Regulação Térmica nos Seres Vivos”
CP / UFMG - Turma 8º B – Junho / Agosto de 99

15ª aula – dia 26/08/99

Tempo	Conteúdo	Objetivos	Estrutura da Atividade	Observações
0 a 42 min	Atividade III.3 Transferência de calor por evaporação	<ul style="list-style-type: none"> Evidenciar as trocas de energia associada aos processos de evapotranspiração. (descontextualização) 	Trabalho nos grupos– grupo coleta e discute dados (termômetro bulbo seco e úmido) sob orientação da professora.	Problemas com leituras comparativas de termômetros prejudicam a atividade. Alunos reagem frente à perturbação de leitura de temperatura da água e a temperatura indicada pelo termômetro de bulbo úmido em contato com o ar. Outras questões polêmicas no grupo: Por que quando venta a sensação de frescor é maior? Por que urinamos mais quando faz frio? Muita conversa e barulho na sala.
42 a 48	Atividade III.4. Suportando altas temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar os conceitos no contexto de estudo da unidade (recontextualização). 	Trabalho nos grupos.	Turma agitada; alunos parecem pouco envolvidos com o problema.
48 a 1:03 min	Discussão com toda a turma = termômetro bulbo seco e bulbo úmido	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecer sínteses e generalizações. Busca de entendimentos compartilhados entre os estudantes. 	Retomada da discussão com toda a classe: a temperatura do bulbo do termômetro é mesmo superior à temperatura da água?	Talha de cerâmica – evidências de transferência de calor na evaporação
1:03 a 1:17	Estruturas da pele e mecanismos de regulação de temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> Frente a dificuldades do grupo, a professora retoma o cartaz e alguns dados adicionais destacando estruturas da pele envolvidas nos processos de regulação térmica. 	Aula expositiva: dados adicionais sobre estruturas da pele: glândulas sudoríporas e circulação sanguínea.	Turma agitada e dispersa.
1:17 a 1:35	Atividade III.5: comparando as transferências de calor na evaporação da água e em seu aquecimento	<ul style="list-style-type: none"> Enfatizar a importância das propriedades térmicas da água na regulação do clima e da temperatura corporal. 	Feita a problematização com toda a classe, indicamos como foi feita a experiência. Alunos fazem algumas previsões gerais e então apresentamos os dados colhidos anteriormente. Introduzimos o conceito de “calor latente de evaporação”.	Turma dispersa. Informações fragmentadas.

Anexo 6- Atividades Complementares para Aula Extra Turno

Regulação Térmica nos Seres Vivos

Parte I: As sensações de Quente e Frio e os Conceitos de Calor e Temperatura

- 1) Pegue uma forma de gelo e coloque suas mãos sobre ela, sem tocar.
 - a) Explique por que suas mãos esfriaram.
 - b) Ao fazer isso, alguma transformação acontece com a barra de gelo? Explique.
 - c) Repita os itens acima, supondo que tenha tocado diretamente na forma de gelo. O que muda nesse caso?
- 2) Num dia de muito frio, Alice notou que a parte de metal do guidon de sua bicicleta parecia mais fria do que a parte de plástico. Explique por que Alice sente a parte metálica mais fria do que a de plástico.
- 3) Se misturarmos um copo (200 ml) de água quente, a 90°C , com a mesma quantidade de água fria, a 10°C , qual será a temperatura final da mistura? Explique o que acontece quando misturamos água quente e água fria.
- 4) Uma leiteira contém um copo de leite a 40°C . Se misturarmos a mesma quantidade de leite a 50°C , qual será a temperatura final da mistura? O que acontece com a temperatura do metal de que é feita a leiteira? Quais são as temperaturas no instante em que se adiciona o leite quente e após algum tempo?
- 5) Uma vasilha contém água a 80°C . Se dividirmos seu conteúdo em dois copos, cada um deles contendo a mesma quantidade de líquido, o que deve acontecer com a temperatura? E se dividirmos em quantidades ainda menores? Explique.
- 6) Faça as experiências que sugerimos nas questões 3, 4 e 5. Em cada caso, verifique se suas previsões são confirmadas. Caso não sejam, procure explicar os resultados.
- 7) Deixamos um bloco de alumínio e um bloco de madeira ao ar livre durante uma noite muito fria. Na manhã seguinte, como serão suas temperaturas? Explique.
- 8) Colocamos os mesmos blocos dentro de um forno elétrico, regulado para funcionar a uma temperatura de 50°C . Ao retirá-los do forno, quais serão as sensações que teremos ao tocar em cada um deles? O que podemos dizer sobre suas temperaturas? Explique.
- 9) Vamos fazer as experiências sugeridas nas questões 7 e 8? Anote e comente seus resultados.
- 10) Se colocarmos uma peça de 200 g de metal aquecido em banho-maria (água fervente), em um copo contendo 200 g de água à temperatura ambiente, o que deverá acontecer? Tente prever a temperatura final de equilíbrio. Justifique sua previsão.
- 11) Faça a experiência sugerida na questão 10, anote seus resultados e comente-os.

Anexo 7- Instrumento de Pré e Pós-Teste

ATIVIDADE DE ABERTURA: O que sabemos sobre os processos de controle de temperatura corporal?

As questões apresentadas a seguir têm, basicamente, dois objetivos. Por um lado, ao pensar sobre elas, você irá ter uma noção sobre o conteúdo dessa unidade de estudos. Por outro lado, ao respondê-las, você estará registrando as idéias que possui, no momento atual, sobre o tema em estudo. Voltando às mesmas situações, mais tarde, ou a situações semelhantes, você poderá comparar sua forma de pensar atual com as idéias que irá desenvolver através de nossos estudos e atividades. Será possível, assim, avaliar o avanço que você pôde alcançar na compreensão do tema. Responda as questões individualmente e, a seguir, discuta com seu grupo, registrando as conclusões finais.

- 9) Você deve saber que, quando estamos saudáveis, a temperatura interna do nosso corpo se mantém relativamente constante, mesmo quando a temperatura ambiente varia (dias muito quentes ou muito frios). Em sua opinião, como isso é possível?
- 10) Em um dia de calor, transpiramos muito, e nos refrescamos movimentando o ar com auxílio de um ventilador. Como você explica esses fatos?
- 11) Mesmo quando a temperatura ambiente é baixa, sentimos muito calor quando fazemos exercícios físicos. Como você explica isso?
- 12) Em um dia de frio sentimos tremores involuntários e nossa pele fica ressecada. Nos aquecemos com auxílio de agasalhos e esfregamos as mãos uma contra a outra. Como você explica cada um desses fatos?
- 13) Colocamos uma pedra de gelo em um copo de limonada fria. Como você explica as transformações no gelo e na bebida? Podemos, nesse caso, falar em transferência de calor?
- 14) Um copo de café quente foi abandonado sobre a mesa. Descreva e explique o que acontece à medida em que o café esfria. Explique ainda por que, ao assoprar o café, ele se esfria mais rapidamente. O que acontece nesse caso?
- 15) Considere que, dentro de uma gaveta de um freezer, encontram-se vários objetos: um copo de metal, um copo de vidro, um pote de sorvete, um pequeno pedaço de gelo e um grande pedaço de gelo. Supondo que esses objetos estejam há bastante tempo abandonados no interior da gaveta, o que se pode dizer sobre a temperatura de cada um deles (são iguais ou diferem entre si)? Explique sua resposta!
- 16) A febre é uma reação comum do organismo em resposta a infecções e outras moléstias. O que acontece com o nosso organismo quando estamos com febre. Nesses casos, como se explica a elevação da temperatura corporal?



Centro Pedagógico da UFMG – Núcleo de Ciências

Teste Individual Escrito – Unidade: Regulação Térmica nos Seres Vivos

Nome: _____ Turma: _____ Data: ___/___/99

1) Assinale V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas seguintes, justificando sua resposta no espaço a seguir:

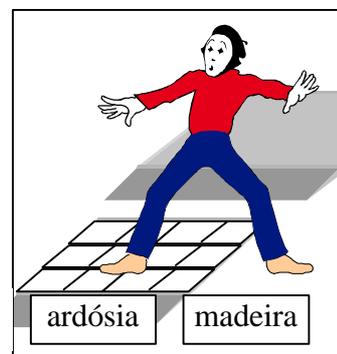
() A temperatura do nosso corpo é usualmente maior do que a temperatura ambiente. Sendo assim, transferimos continuamente energia para o ambiente na forma de calor.

() Quando faz calor, nosso corpo está recebendo calor do ambiente; quando faz frio, nosso corpo recebe o calor frio dos materiais a baixa temperatura.

() O calor e o frio são duas coisas opostas: um corpo pode ser quente ou frio; pode ainda ter uma mistura dessas duas qualidades e apresentar uma temperatura amena.

() Os agasalhos nos aquecem, isso é, fornecem calor ao nosso corpo porque são constituídos de materiais que conservam o calor.

2) Imagine a seguinte situação: você está com os pés descalços, caminhando dentro de uma casa num piso de madeira. De repente, vai para uma sala cujo piso é revestido com pedra ardósia. Você, então, sente a diferença entre os dois pisos pelo tato. Como explica as diferentes sensações provocadas pelos dois pisos?

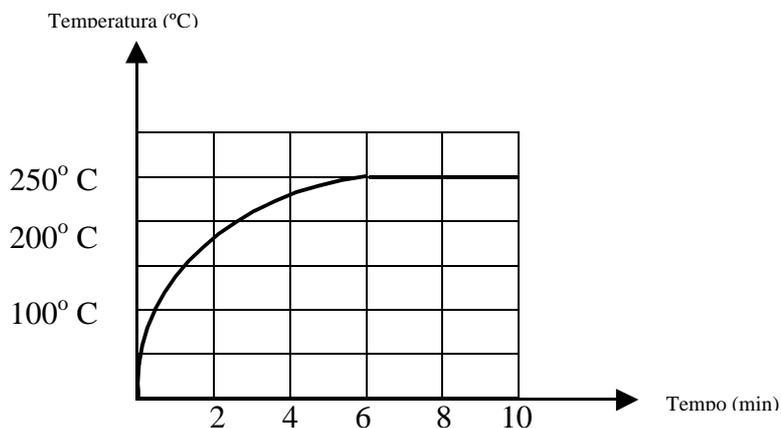


CENTRO PEDAGÓGICO DA UFMG

Teste Individual Escrito – Unidade: Regulação Térmica nos Seres Vivos

NOME: _____ Turma : 8ªB Data ___/___/ 99

- 1) Um ferro de solda é ligado à tomada e deixado sobre uma mesa durante 10 minutos. O gráfico abaixo indica a evolução de sua temperatura em função do tempo.



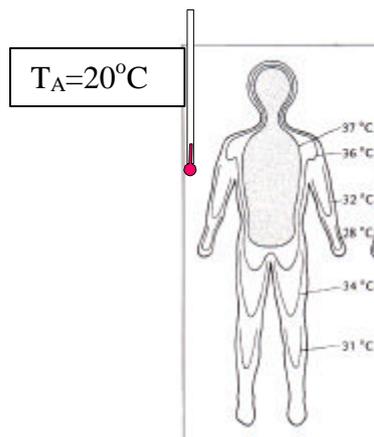
- A partir da leitura do gráfico, **DESCREVA** o que acontece com a temperatura do ferro de solda durante a experiência.
- EXPLIQUE** esse resultado, lembrando-se que o ferro de solda recebe da rede elétrica sempre a mesma quantidade de energia a cada segundo que passa.
- O ferro de solda ligado à tomada pode ser comparado ao corpo humano no que se refere às trocas de energia que realiza com o meio? Em que se assemelham e em que se diferenciam nesse aspecto específico?

- 2) Considere a seguinte afirmativa: “Pode-se dizer que os animais homeotermos (aves e mamíferos) se aquecem de dentro para fora enquanto que os animais heterotermos (insetos e répteis, por exemplo) se aquecem sobretudo de fora para dentro.”
- a) O que significa aquecer “de dentro para fora” ou “de fora para dentro”?
- b) **DESCREVA** e **EXPLIQUE** as principais diferenças entre animais homeo e heterotermos no que se refere: 1. à temperatura corporal; 2. às trocas de energia com o meio; 3. ao isolamento térmico da superfície de seus corpos.

- 3) Os filhotes de pingüim imperador adotam o comportamento observado na figura em ambientes recobertos de gelo da Antártica. **EXPLIQUE** esse comportamento considerando seus conhecimentos sobre calor e temperatura.



4) Observe a figura:



A figura representa as temperaturas de diversas camadas do corpo de um indivíduo em ambiente a 20°C .

- EXPLIQUE** por que a temperatura de sua pele nas extremidades (mãos e pés) é maior do que a temperatura do ar à sua volta e menor do que a temperatura corporal.
- DESCREVA** o que acontece com a temperatura da pele de seu corpo quando a temperatura do ar à sua volta começa a aumentar, chegando a atingir 32°C . Que processos acarretam essas mudanças?
- Mesmo quando a temperatura do ar é superior à de nosso corpo, nossa temperatura interna continua a mesma. **EXPLIQUE** como isso é possível valendo-se de seus conhecimentos sobre calor e temperatura.

5) Observe as seguintes situações:



- A partir das situações apresentadas, EXPLIQUE as diferenças entre os conceitos científicos de CALOR e de TEMPERATURA e seu uso na linguagem cotidiana.
- O que significa dizer que calor é uma “forma de energia”? Existe também uma “forma de energia” associada ao frio? Explique.

I. Orientações Gerais:

Os alunos devem ser informados que:

- Essa entrevista não faz parte do processo de avaliação de aprendizagem por parte da escola ou da professora.
- Faz parte de uma pesquisa sobre processos de ensino-aprendizagem em Ciências, que procura identificar como os estudantes constroem conhecimento científico na escola, que dificuldades encontram e como podemos promover essa aprendizagem.
- Nos relatos de pesquisa, usaremos nomes fictícios, o que garante o anonimato do entrevistado. O que importa é que você seja muito sincero sobre tudo o que lhe for perguntado, respondendo livremente o que pensa e não dando respostas para agradar (respostas que o outro quer ouvir).
- Vamos conversar sobre tópicos e idéias que foram desenvolvidas ao longo do estudo sobre regulações térmicas nos seres vivos. Para isso, irei apresentar algumas situações para que possamos falar a respeito e interpretar o que está acontecendo.

II. Questões e Orientações para a entrevista

Situação 1: Mão sobre o gelo – retirar uma forma de gelo do congelador e colocar a mão do estudante sobre ela, sem tocar. O que você sente? O que acontece com sua mão e com o gelo à medida em que se aproximam? Como você explica as transformações observadas? Podemos falar em transferências de calor? Qual é o sentido dessas transferências (do gelo para a mão; da mão para o gelo ou ambas?).

Além disso, procurar prever em quais condições a mão se aquece mais, colocando-a acima da vela ou ao lado dela. Fazer a experiência e procurar explicá-la: como o calor se propaga da vela até a nossa mão em cada caso?

Verificar: conceitos de calor e de “frio”; como o calor se propaga? (transferências de calor por condução, convecção e radiação).

Situação 2. Chama de uma vela – observando a chama da vela, o que podemos dizer sobre sua temperatura? É possível colocar o dedo sobre a chama sem se queimar? <fazer a experiência, passando o dedo rapidamente pela chama> Como você explica isso? Caso necessário, colocar papel sobre a chama: por que o papel não se queima, sendo a temperatura tão elevada? Dependendo da resposta do estudante perguntar: é possível ter baixa transferência de calor e altas temperaturas?

Verificar: diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura.

Situação 3: Prego incandescente X água quente

Você já viu um prego incandescente? Se colocarmos um prego desses na chama de um fogareiro durante um certo tempo (cuidado para não se queimar) ele fica avermelhado, emite luz, a partir de certa temperatura (cerca de 800°C). Pois bem, se colocarmos o prego incandescente sobre uma mesa em dia muito frio (temperatura do ar em torno de 10° C) o que irá acontecer? Descreva e explique... Considere agora que eu ferva um litro de água, retire a panela do fogo e coloque-a imediatamente sobre a mesa. Nesse caso, qual dos dois materiais (prego a 800°C ou água a 98°C) irá transferir maior quantidade de calor ao ambiente?

Explorar ainda processo de aquecimento: como se comparam as quantidades de calor necessárias para aquecer o prego e a água?

De que fatores depende a quantidade de calor transferido? Caso necessário, ajudar o estudante a compor outros sistemas: mesma quantidade, em massa, de água e ferro; quantidades iguais de materiais diferentes (água e ferro) inicialmente à mesma temperatura. Em cada caso, prever qual sistema terá maior quantidade de calor transferido e por que.

Verificar: conceitos de calor e temperatura; fatores que interferem na quantidade de calor transferido.

Anexo 10 –Protocolo para Entrevista Final – Centro Pedagógico da UFMG
8ª B – Outubro / Novembro 1999

Situação 4:

Você está andando na rua em dia muito quente (temperatura do ar a 30°C), e entra em um banco com ar condicionado ligado e desregulado, de modo que a temperatura do ar no interior do banco está a 15°C. O que acontece com o seu corpo? O que muda em cada caso?

Verificar: temperatura corporal, temperatura da pele; processos de transferência de calor; evapotranspiração; mecanismos de regulação térmica; equilíbrio térmico...

Situação 5:

Apresentar hipótese de conservação de energia: “a ciência contruiu uma idéia de que a energia se conserva, isto é, a energia se transforma, mas a quantidade total é sempre a mesma. A energia não pode ser nunca criada ou destruída, apenas transformada.” O que você acha disso? Você considera que isso seja sempre verdadeiro, em qualquer situação? No contexto do estudo sobre regulação térmica nos seres vivos, você identifica transformações e conservação de energia? Comente...

Considere agora a seguinte situação: pegamos um palito de fósforo, riscamos, deixamos aceso por um tempo e então o apagamos. A energia total se conservou também nessa situação? De onde veio a energia que manteve a chama do fósforo? Para onde foi essa energia? Se compararmos a quantidade total de energia que tínhamos antes de riscar o fósforo e depois dele apagado, ela continua a mesma? Você acha que energia pode ser armazenada?

Verificar: concepções acerca de energia: conservação, transformações, armazenamento, transferências e degradação. Verificar relações com conceito de calor.

Situação 6:

Vamos agora comparar dois animais, um homeotermo e outro heterotermo, os dois mais ou menos com a mesma massa, sexo e ambos adultos. Vamos tomar, por exemplo, um homem e um jacaré, ambos com aproximadamente 70 kg. Vamos agora comparar a dieta alimentar de um animal e de outro, ou seja, saber o que um e outro alimentam durante um dia e comparar. É claro que vão ser diferentes numa série de aspectos, necessidades específicas de um organismo e de outro. Porém, o que queremos comparar é apenas o teor energético, o valor calórico dos alimentos. Você acha que é possível antecipar qual desses dois animais terá maior suprimento energético? Por que?

Verificar: homeo e heterotermia em termos de transferências de energia do organismo e meio; balanço energético nos organismos.

- Em alguns casos, ao final da entrevista, fazer perguntas mais específicas no sentido de esclarecer o conteúdo de respostas dadas em alguns dos testes escritos. Solicitar que o aluno comente e fale um pouco mais sobre a resposta dada.

Anexo 11 – Questionário para Avaliação Final do Módulo Didático

Chegamos ao final dos trabalhos, mas devemos nos lembrar sempre que todo fim é um bom começo.... Gostaríamos de saber como você avalia a adequação do ensino ao longo desses quase dois meses de trabalho. Para facilitar, talvez seja conveniente avaliar separadamente:

1. O conteúdo do que foi ensinado (pareceu relevante? foi tratado em profundidade adequada? você sentiu-se motivado a saber mais sobre o assunto?, etc.).
2. As atividades realizadas (auxiliaram na aprendizagem? foram interessantes?, etc.).
3. O texto utilizado (clareza, adequação de linguagem, aspecto motivacional, etc.).
4. Dinâmica dos trabalhos em sala de aula.

Anexo 12 – Questionário sobre Estratégias de Aprendizagem e Visão de Ciências

Nome: _____ Turma 8ª B – Outubro-Novembro/99

O questionário abaixo pretende destacar procedimentos que você julga serem mais adequados para garantir uma boa aprendizagem em ciências na escola. Para cada um deles, você deve assinalar: 5. se o aspecto apontado for considerado de extrema importância; 4. Se o aspecto apontado for muito importante; 3. razoavelmente importante; 2. pouco importante; 1. Indiferente para a aprendizagem;

1. Ter atenção às explicações dadas pelo professor(a) durante as aulas.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Fazer anotações em seu caderno ou apostila durante as aulas.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Fazer experimentos em pequenos grupos

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Assistir a demonstrações experimentais conduzidas pelo(a) professor (a)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Discutir e interpretar resultados de experimentos realizados nos pequenos grupos.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Discutir as idéias do grupo com toda a turma e com o professor(a), argumentando seus pontos de vista e ouvindo aos colegas e professor(a).

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Desenvolver uma síntese daquilo que foi trabalhado.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8. Fazer a leitura dos textos (apostila) em sala ou em casa.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9. Resolver exercícios ou situações problemas a partir dos princípios e conceitos desenvolvidos.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

10. Identificar seus próprios erros (pré-teste, testes e outras atividades), procurando assim superá-los.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

11. Relacionar os conceitos e teorias com situações do cotidiano, dentro e fora da escola.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Outros aspectos que considera importantes para favorecer a aprendizagem em ciências: _____

Anexo 12 – Questionário sobre Estratégias de Aprendizagem e Visão de Ciências

A seguir apresentamos algumas afirmações sobre as ciências naturais e a atividade científica. Você deve assinalar:

5. se concorda totalmente com a afirmação; 4. Se concorda parcialmente; 3. Se não concorda nem discorda; 2. Se discorda parcialmente; 1. Se discorda totalmente

Afirmativa 1:

A ciência existe para buscar explicar por que os fenômenos naturais ocorrem de um determinado modo e não de outro. Essa explicação não é possível sem uma imaginação criadora que inventa idéias, conceitos, modelos e teorias que contêm mais coisas do que foi efetivamente observado.

Grau de concordância:

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---

Afirmativa 2:

A ciência tem por finalidade descobrir as leis da natureza, visando colocar à disposição do homem um conhecimento seguro, correto e rigoroso acerca do mundo natural.

5	4	3	2	1
---	---	---	---	---