

Um modelo piagetiano de ensino como ferramenta para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem

Orlando Aguiar Jr. – FaE/UFMG

Resumo:

O trabalho sintetiza alguns resultados de pesquisa na qual avaliamos um modelo de ensino destinado a dar suporte ao planejamento e avaliação de seqüências didáticas. O modelo consiste na proposição de níveis de entendimento progressivos, baseados nas tríades sucessivas intra, inter e trans-objetais, propostas por Piaget e Garcia (1984). Apresentamos dados de um estudo de introdução à física térmica, junto a uma classe de 8ª série (14/15 anos), acompanhando as trajetórias de aprendizagem de dois estudantes. Os resultados preliminares são favoráveis, na medida em que o modelo de ensino permite: a) a diversificação das metas de aprendizagem, de modo a favorecer progressões diferenciadas, conforme os interesses e habilidades dos estudantes; b) a reflexão sobre o ensino, a partir do reconhecimento da evolução das estruturas de pensamento dos estudantes; c) ajustes do ensino às características e necessidades formativas dos estudantes.

Palavras chaves: ensino de ciências, planejamento e avaliação de seqüências de ensino.

Abstract:

This paper summarises some results of a research in which we developed a model of teaching, that facilitates the planning and the assessment of teaching sequences. The model proposes three levels of understanding, according to the triads intra-, inter- and trans-object of Piaget and Garcia (1984). We present data from a study of an introductory thermal physics class for 8th grade students (14/15 years of age) and analyse the learning cases of two pupils, following their progress during the course. We conclude that the model favours: 1. different paths of evolution, respecting pupils' skills and interests; 2. a self-reflection on the teaching process through recognising the development of pupils' structures of thinking; 3. adjustment of teaching to students characteristics and necessities

Key word: science learning, planning and evaluation of classroom leçon.

1. Introdução

Entendendo as mudanças que acompanham as aprendizagens escolares em ciências como processo gradual mediante o qual as estruturas de conhecimento existentes são continuamente enriquecidas, reorganizadas e reestruturadas (Vosniadou e Ioannides, 1998), coloca-se a necessidade de conceber o ensino de modo a conectar o mundo das experiências pessoais dos estudantes com o mundo habitado pelos construtos da ciência. Ao reconhecer as diferenças entre esses dois planos, cotidiano e 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-Barais, 1994; Dykstra et al., 1992; Tiberghien, 1998). Tais preocupações nos conduziram a conceber um modelo de ensino, cujas proposições consistem, basicamente, em orientações gerais destinadas a organizar, planejar e avaliar a intervenção docente de modo compatível com os mecanismos que regem os processos de aprendizagem, mas sem ignorar a estrutura e a gênese do conteúdo que se deseja ensinar.

Organizar um currículo ou um planejamento didático com atenção ao processo de aprendizagem e não apenas espelhando a lógica das noções que compõem a estrutura da disciplina já constituída implica considerar o conhecimento como resultado de um processo de construção. Desse modo, passamos a considerar o “simples” e o “complexo” não mais a partir das noções no interior de uma 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 dentre 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 refere-se ao objeto em si” (p.158).

Estabelecer um modelo construtivista de ensino implica propor níveis de conhecimento que se pretendem atingir 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 provisoriidades. Isso implica uma recursividade no currículo em que as noções não são apenas revisitadas em diferentes contextos e em diferentes momentos do processo educacional mas apreendidas em diferentes níveis de compreensão. O conhecimento não se dá por meros acréscimos de elementos a serem simplesmente compostos entre si, mas em totalidades que são engendradas em suas superações (Piaget, 1976).

O modelo de ensino que está sendo examinado¹ recorre à epistemologia genética para extrair dela elementos que auxiliem o professor na identificação desses níveis de estruturação e assim orientar suas escolhas didáticas. Piaget e Garcia (1984) identificam na psicogênese e na história das ciências mecanismos comuns na construção de conhecimentos. O elemento que os autores consideram de maior importância nesse estudo comparativo consiste nas tríades dialéticas que denominam etapas INTRA, INTER e TRANS, quando se trata de precisar o sentido das superações e as características de cada nível ou estado de conhecimento em relação àqueles que o precedem e o sucedem.

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

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. Assim, 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, seja através de teorias refinadas e abstratas, todo nível de conhecimento configura uma certa resposta a essas três perguntas fundamentais ao objeto: O que é isso? Como isso funciona?; Como se explica? A primeira pergunta remete à *ontologia*, ou seja, à constituição e natureza do objeto; a segunda questão 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. Todas essas indagações subordinam-se a uma outra pergunta, ligada a aspectos motivacionais que orientam e dirigem nossas condutas: “por que / para que eu devo saber isso?”.

Esse referencial teórico foi utilizado no planejamento de um módulo didático de introdução à física térmica junto a alunos de 8ª série (14/15 anos), no contexto de investigação das “regulações térmicas nos seres vivos”. A partir da análise epistemológica dos conteúdos da física térmica, da leitura feita 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, resultando um planejamento de ensino com as seguintes características:

1. Meta fundamental: superação da lógica de atributos quente/frio na interpretação dos fenômenos térmicos.

¹ A fundamentação teórica desse modelo encontra-se desenvolvida mais detalhadamente em outros trabalhos (Aguiar Jr. e Filocre, 1999; Aguiar Jr., 2001).

² As “teorias” a que nos referimos incluem as “teorias em ação” (Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975) que orientam a atividade da criança e as “teorias implícitas” (Benlloch e Pozo, 1996) que o sujeito utiliza sem que sinta a necessidade de refletir sobre elas, de forma a explicitar seus argumentos ou precisar o sentido de cada uma das noções que utiliza para interpretar o mundo à sua volta.

2. Tratamento exclusivamente macroscópico, centrado na “estória” básica da termodinâmica através da construção concomitante dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico (Arnold e Millar, 1994, 1996).
3. Abordagem qualitativa e geral, evitando 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. Calor como forma de energia, isso é, podendo ser obtido através de outras fontes de energia e transformado em outras manifestações de energia.
6. Balanço energético nos organismos, evidenciando as transferências de energia como calor dissipado ao ambiente e o calor produzido pela respiração celular.

Na figura 2 estão reproduzidos os patamares ou níveis de desenvolvimento dos conceitos ao longo da unidade, tais como foram sendo concebidos ao longo do planejamento do ensino, constituindo o que pode ser chamado de "patamares pedagógicos". A seguir, são feitos comentários destacando as características gerais que definem cada um desses níveis enquanto modos distintos de conceber e interpretar fenômenos.

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

Figura 1: Níveis de Entendimento no Planejamento do Curso “Regulação Térmica dos Seres Vivos”

O primeiro nível refere-se a uma concepção não-científica ou pré-científica acerca dos fenômenos térmicos, largamente reportadas pela pesquisa e confirmadas em nossos estudos preliminares. Suas principais características são: a). dicotomia entre qualidades opostas do calor, quente ou frio, e suas manifestações nos diferentes materiais; b). descrição dos

fenômenos em termos de estados “naturais” dos objetos, segundo suas propriedades intrínsecas; c) não consideração das fronteiras entre objetos, nem tampouco de um conjunto de objetos em interação; d) seleção das variáveis relevantes a partir das sensações ao tato; e) 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, em direção a *eventos*, ou seja, na busca de regularidades nas transformações. Assim, as interações térmicas passam a constituir um observável e as formulações acerca do calor se tornam mais aceitáveis de um ponto de vista científico. Entretanto, é longo e penoso o caminho da diferenciação entre calor e temperatura, da mesma forma em que subsistem ambigüidades, 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 desse nível, predominantemente inter-objetal, consistem em identificar e nomear entidades relevantes nas interações e comportamentos dos objetos, com tentativas de unificar explicações relativas a processos (transferências de calor) e estados (equilíbrio térmico). Por outro lado, as principais fragilidades desse modo de conceber os fenômenos térmicos referem-se a uma causalidade linear, em que os eventos são segmentados e ordenados com uma causa procedendo a um dado efeito e assim sucessivamente, e a um conhecimento circunstanciado e local, com pequena capacidade de generalização, por não considerar de modo simultâneo e coordenado o conjunto de fatores em jogo.

O terceiro patamar pedagógico realiza uma transição inicial ao pensamento sistêmico, próprio da ciência termodinâmica. Segundo Lemeigman e Weil-Barais(1994), a superação de representações centradas em objetos e eventos, em direção a representações integradas em sistemas, solicitam um conjunto de operações mentais, a saber: 1. construção de um sistema, ou seja, um agrupamento de objetos que passam a ser concebidos como um conjunto, descrito a partir de um certo número de variáveis (integrando processos e estados); 2. segmentação temporal dos eventos (estados do sistema); 3. hierarquização dos fatores, destacando aqueles mais relevantes para primeira solução aproximada do problema. Podemos acrescentar que o pensamento sistêmico envolve consciência das relações parte-todo, consideração das fronteiras e, sobretudo, uma 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 suposição tácita acerca da conservação da energia, permite novas coordenações e a compreensão de um conjunto de processos reguladores envolvendo simultaneamente transferências de calor e liberação de energia através do metabolismo.

Os três patamares da unidade comportam, em seu conjunto, um caminho progressivo, mas provisório, de desenvolvimento conceitual em direção às formulações científicas. Eles indicam um percurso marcado pela descentração progressiva e pela objetivação dos fenômenos e processos investigados, 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.

Esses níveis progressivos (patamares pedagógicos) foram elaborados não apenas com a finalidade de orientar as ações quando do planejamento e implementação das estratégias de ensino, mas, também, como referências para a avaliação da aprendizagem. Na análise dos dois casos selecionados, e que serão examinados a seguir, a atenção estará voltada para as dimensões relativas à avaliação da aprendizagem, deixando para outro trabalho o tratamento dos aspectos ligados ao planejamento e desenvolvimento das estratégias de ensino.

A esses patamares pedagógicos correspondem correlativamente três níveis de entendimento que traduzem os progressos dos estudantes ao longo do curso. Mas, diante da riqueza dos dados das suas manifestações, e para melhor discriminar o nível de entendimento alcançado por eles, tomou-se a decisão de dividir cada um dos níveis em dois sub-níveis –IA e IB; IIA e IIB, IIIA e IIIB –, caracterizados de maneira a acompanhar as transições entre eles. No caso do nível I, o critério utilizado para

distinguir os subníveis foram a ausência ou presença de um sistema causal, mesmo sendo este extremamente centrado em propriedades extraídas da experiência com os objetos. No caso dos dois últimos níveis, os critérios foram a generalidade e estabilidade das construções efetuadas, além da proximidade das mesmas em relação aos conhecimentos científicos.

Embora adotemos o mesmo sistema utilizado por Piaget para designar os estágios de desenvolvimento cognitivo de crianças e adolescentes, os níveis de entendimento não são derivados daqueles, e a eles não 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 acerca de tópicos de conteúdo, em contextos específicos de aprendizagem escolar.

1. Metodologia de pesquisa

O estudo foi desenvolvido com uma turma do último ano da Escola de Ensino Fundamental do Centro Pedagógico da UFMG, envolvendo 33 alunos de 14 a 15 anos, ao longo de três meses de 1999 (junho a agosto), durante 15 encontros de 90 min cada. No ano anterior, foi realizado um estudo piloto com uma outra turma, destinado a refinar os instrumentos de análise.

Do ponto de vista metodológico, a primeira preocupação consistiu em criar instrumentos de análise compatíveis com a teoria que dirigiu as observações realizadas, explicitando-a. O pressuposto é que o “sistema-aluno”³ 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, procurou-se observar os deslocamentos dos modos de entendimento dos estudantes sobre uma classe particular de fenômenos térmicos, e identificar olhares dirigidos aos “objetos”, a “eventos” e a “sistemas”. A teoria piagetiana foi, nesse sentido, a matriz teórica principal, mas não exclusiva, para a construção de instrumentos de coleta de dados e para 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 as produções dos estudantes em seu conjunto, buscando compor padrões coerentes e consistentes, segundo sua própria lógica e não subordinadas à lógica do pensamento científico.

A validação e confiabilidade dos dados foram outras preocupações metodológicas relevantes em nossa 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 conduzir a uma postura descritiva e contemplativa mas, pelo contrário, renovar as múltiplas interpretações possíveis dos dados disponíveis.

Nas análises das produções dos estudantes, foram utilizadas categorias genéricas e abstratas que compõem um referencial para identificar e qualificar seus progressos. 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 (Perrenoud, 2000). O pressuposto é que, ao destacar níveis e subníveis de entendimento e, em cada um deles, identificar aspectos intra, inter e transobjetais, tenham sido constituídos instrumentos

³ Esta pesquisa pretende constituir-se em um diálogo aberto e incessante 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, com um educador e mediados por objetos de conhecimento. Ao se dar destaque a esses dois elementos, professor e aluno, enquanto sistemas, e ao postular sua autonomia, o que se pretende é enfatizar o fato de que ambos operam com lógicas distintas, com intenções e finalidades próprias, nutrindo expectativas mútuas acerca das ações do outro, de suas possibilidades, deveres e direitos.

capazes de acompanhar os progressos e obstáculos dos estudantes na construção de conceitos científicos, o que poderá ser mais bem apreciado a partir da apresentação de dois casos especialmente selecionados.

Os instrumentos de pesquisa utilizados foram, em grande parte, instrumentos normalmente adotados pelo ensino na avaliação da aprendizagem. Compunham a avaliação os seguintes instrumentos: 1. observação diária das atividades escolares; 2. atividades extra-classe (incluindo tarefas para casa); 3. pré e pós-teste de cada tópico de conteúdo; 4. dois testes escritos, um ao final do primeiro mês de atividade e outro, ao final dos trabalhos. Além desses, foram, para o propósito de nossa 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. Em anexo, estão reproduzidos os testes escritos e o protocolo da entrevista.

Na sequência, será desenvolvida uma análise de indicadores de aprendizagem⁴ de dois estudantes ao longo do curso, com o objetivo de examinar possíveis razões que conduziram às trajetórias singulares de cada um deles, e, ao mesmo tempo, desenvolver uma reflexão acerca da prática docente, avaliando o mérito das decisões tomadas e dos procedimentos adotados. Desse modo, pretende-se qualificar a prática, posto que objeto de reflexão constante e renovada, e aumentar o repertório de conhecimentos⁵ que alicercem a compreensão dos mecanismos de aprendizagem em ambiente escolar.

Por serem representativos de um conjunto, e escolhidos de maneira intencionada, os estudos de casos de aprendizagem permitem comparações por contraste, evidenciando a heterogeneidade de processos cognitivos deflagrados nos diversos sujeitos. Segundo Thorley e Woods, *“além de fornecer aos professores avaliações detalhadas de determinados alunos e conceitos, uma abordagem como essa pode contribuir significativamente para a avaliação de uma proposta educacional e em processos mais gerais de aprendizagem e compreensão”* (1997, p. 242). De modo coerente com o propósito e o objeto dessa pesquisa, a análise está centrada na reflexão sobre os processos de ensino concebidos a partir de perspectivas construtivistas acerca do conhecimento e da aprendizagem escolar.

2. Resultados

3.1. Quadro Geral do Desenvolvimento Conceitual da Turma

Antes de examinar com detalhes as trajetórias dos dois estudantes ao longo do processo, convém destacar, de modo geral, o desenvolvimento cognitivo da turma ao longo do curso

O cruzamento das informações do pós-teste, teste final e entrevista permitiu avaliar o nível de entendimento predominante de cada um dos alunos ao final do curso, e compará-lo com aqueles apresentados ao início dos trabalhos. Os resultados estão apresentados nas figuras 2 e 3 a seguir.

⁴ Indicadores de aprendizagem são evidências, colhidas por meio de instrumentos de avaliação da aprendizagem, das formas de entendimento dos estudantes. Eles nos oferecem indícios dos modos de pensar dos estudantes e de eventuais obstáculos à aprendizagem. São, ainda, fortemente dependentes do contexto de produção, ou seja, de características da atividade avaliativa e das condições de sua aplicação.

⁵ Segundo Gauthier et al (1998, p. 61), o “repertório de conhecimentos é o conjunto de saberes, conhecimentos, habilidades e atitudes de que um professor necessita pra realizar seu trabalho de modo eficaz num determinado contexto de ensino”.

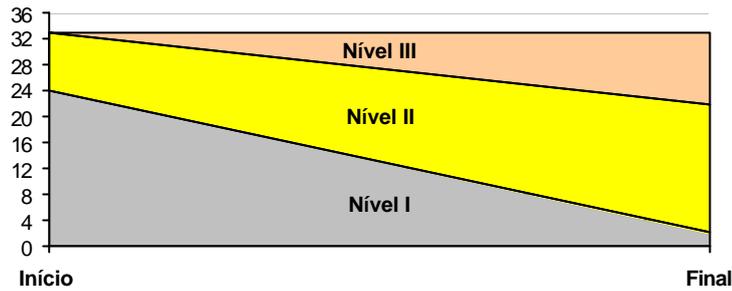


Figura 2: Evolução dos níveis de entendimento da turma, inicial e final, em número de estudantes.

A figura 2 apresenta graficamente o desempenho dos estudantes ao início e ao final dos trabalhos, de acordo com os níveis I (intra-objetual), II (inter-objetual) e III (trans-objetual). O lado esquerdo do gráfico indica o desempenho dos 33 alunos da turma no pré-teste: 24 estudantes apresentavam predominantemente respostas de nível I e outros 9 davam respostas classificadas como de nível II. O lado direito do gráfico da figura 2 indica a performance da turma ao final dos trabalhos, considerando-se as respostas do teste final e da entrevista. Considerando em conjunto esses dois instrumentos de avaliação, as respostas de 2 estudantes foram classificadas como de nível I, 20 estudantes apresentaram, predominantemente, nível II e 11 apresentaram formas de raciocínio classificadas como de nível III. Desse modo, o gráfico da figura 2 indica uma queda acentuada do grupo de alunos no nível I (de 24 para 2 alunos) e correspondente aumento dos grupos situados nos níveis II e III (de 9 para 20 e de 0 para 11, respectivamente).

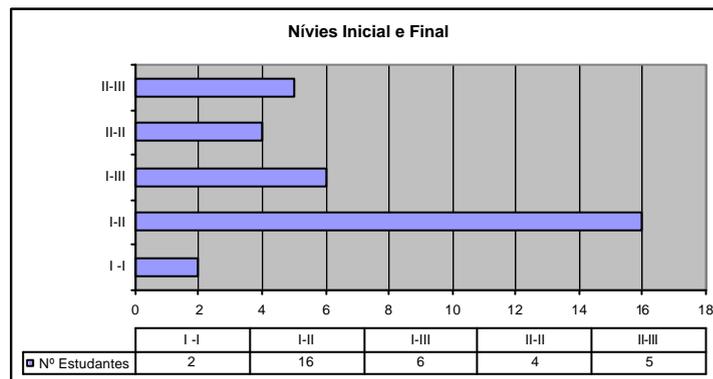


Figura 3: Transição de níveis ocorrida na turma ao longo do curso.

O gráfico da figura 3 indica as transições entre os níveis, inicial e final, dos estudantes. As transições II representam alunos que, tendo inicialmente apresentado respostas predominantemente intra-objetuais, mantiveram ao final do curso o mesmo padrão de respostas, mesmo que com alguma sofisticação nas respostas. Transições I-II indicam alunos que, tendo apresentado respostas de nível I no pré-teste, tiveram respostas classificadas como nível II no teste final e entrevista. Desse modo, a figura 3 permite visualizar as mudanças (ou permanências) dos estudantes, considerando-se os níveis de partida e as performances ao final dos trabalhos.

O resultado mais desfavorável da aprendizagem ao longo do curso manifesta-se naqueles 2 sujeitos que mantêm as produções intra-objetuais de partida, o que representa 6% do total da turma. As transições intra-inter (I-II) são as mais frequentes (16 estudantes, ou 48% dos alunos da turma). A transição I – III, relativa à passagem das composições centradas em atributos dos objetos para um pensamento estruturado e sistêmico, representa, aqueles sujeitos que tiraram maior proveito da proposta de ensino desenvolvida, abrangendo 18% do total dos alunos da turma (6 alunos). 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 inter-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 propostas.

Grosso modo, a turma pode ser dividida 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 aqui 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, composto por 16 estudantes (48% do total) é constituído por aqueles que apresentaram transições intra-inter-objetais, o que permite identificar progressos, embora menores do que aqueles esperados. Finalmente, o terceiro grupo é composto por 11 estudantes (33% do total) que atingiram as metas propostas, alguns dando passos mais significativos (transição I-III), outros menos notórios (transição II-III), 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, conferem apenas uma visão geral dos problemas, que passamos a examinar em detalhe no estudo de trajetórias cognitivas de alguns alunos ao longo do curso.

A escolha dos dois estudantes, Alex e Fabiana, se justifica pelo fato de terem apresentado desenvolvimentos bastante diferenciados e bem documentados ao longo dos trabalhos. Embora manifestando, por ocasião do pré-teste, formas semelhantes de entendimento, caracterizados como IB, Alex e Fabiana tiveram, depois disso, envolvimento e desempenhos completamente diferenciados. Enquanto Alex atinge o nível trans-objetal (III), Fabiana apresenta uma progressão apenas parcial em direção ao nível IIA.

3.2. A Trajetória de Alex

A escolha de Alex se deve ao fato de ter apresentado uma trajetória singularmente bem sucedida ao longo do curso, tendo efetuado uma transição do nível I (interobjetal) ao nível III (transobjetal). Nosso interesse será o de examinar algumas das razões determinantes desse sucesso, bem como sinalizar as lacunas e impasses na construção de uma visão coerente acerca dos fenômenos térmicos.

No pré-teste (Anexo 1), as respostas de Alex apontam para interpretações bastante primitivas aos fenômenos térmicos em geral e, particularmente, ao problema da regulação térmica. Nesse momento, o aluno não manifestou qualquer referência ao conceito físico de calor enquanto princípio explicativo de variações de temperatura. Suas respostas encontram-se centradas nas dualidades quente/frio, enquanto elementos em oposição:

“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, nos sentimos frio, então necessitamos de um aquecimento externo para nos sentirmos confortáveis.”(Pré-teste, questão 4)

É interessante comparar essas produções com suas respostas, às mesmas questões, ao final do curso (pós-teste). O caráter genérico de suas proposições nesta segunda ocasião permitem designá-las como sendo decorrentes do nível IIB, posto que um único esquema é utilizado, com pequenas variações, a todas as situações apresentadas, com adequação a cada uma delas. Há um progresso nos observáveis e sobretudo das 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, indicando com isso 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 apresentado como argumento dedutivo: *“o ar de nossa boca irá receber calor do café, então este perderá calor”*. Ao contrário do pré-teste, predominam relações e não atributos. No entanto, o aluno não utiliza de coordenações esquema-estrutura, próprias do nível III, talvez por considerá-las desnecessárias frente à generalidade das questões formuladas nesse instrumento de avaliação (Anexo 1).

Ainda nas primeiras semanas do curso, por ocasião do primeiro teste (Anexo 2), Alex revela uma clara superação de explicações centradas na dicotomia frio *versus* quente. Relativiza as sensações térmicas e explica corretamente as transferências de calor do corpo para os materiais que, segundo suas condutividades térmicas, nos fornecem diferentes sensações ao tato, como se percebe em sua resposta 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).

No teste realizado ao final do curso (Anexo 3), Alex apresenta um sistema de compensações que coordena aspectos ligados à produção e à transferência de calor, enquanto fluxos de energia, cujo balanço permite a manutenção de temperatura do sistema constante e distinta da temperatura da vizinhança. As pequenas lacunas subsistem no fato do aluno não considerar as variações e dinamismo que caracterizam os processos reguladores nos seres vivos, nem tampouco apresentar integração dos processos de digestão, circulação e respiração, o que o leva a supor que a produção de calor esteja restrita à região torácica e abdominal:

"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)

Alex apresenta um sistema dedutivo que permite explicar o que acontece com o organismo em situações de calor intenso, quando a temperatura ambiente é alta mas inferior à temperatura corporal (item 4.b) ou mesmo ainda superior à temperatura corporal (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 contraste com essas produções de nível III, e com o fato de se valer funcionalmente de distinções entre os conceitos de calor e temperatura, Alex parece se confundir ao ser indagado sobre as relações entre esses conceitos:

"A temperatura é a medida de calor de um corpo e o calor é o processo de transferência de calor."(Teste 2, questão 5.a)

"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 5.b)

A resposta a essa última questão é estranha ao conjunto da produção do estudante, e levantamos duas hipóteses para interpretá-la. A primeira consiste em supor que o aluno, embora capaz de utilizar-se corretamente de conceitos em contextos específicos, não possui ainda nível de abstração capaz de transformá-los em proposições gerais e consistentes. Outro modo de interpretar esse dado consiste em assumir que a relação calor – temperatura encontra-se ainda restrita à suposição de “temperatura como medida do calor”, compondo assim o perfil conceitual do estudante (Mortimer, 1995). Convém salientar que, em nenhum momento desse teste ou do anterior, Alex usa esses dois conceitos de modo indiferenciado. Em todas as situações, trata do calor como algo que se obtém através 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 então considerar que o calor está, de fato, contido no corpo, e que a temperatura apenas mede essa quantidade de calor disponível. O certo é que, nesse momento, tínhamos poucos dados para decidir sobre a validade dessa interpretação, o que nos levou a formular outras situações a serem apresentadas na entrevista.

Na entrevista (Anexo 4), realizada após 40 dias do final dos trabalhos com a unidade, Alex se mostra capaz de interpretar situações variadas utilizando-se dos conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. Apresenta-se, além disso, seguro quanto ao princípio de conservação de energia e explica o equilíbrio dinâmico a partir de fluxos de energia entre organismo e meio.

O que mais admira nas proposições desse aluno é o fato de que, apesar de ter sido capaz de dar uma resposta favorável aos problemas apresentados ao longo da unidade, manteve um elevado grau de indiferenciação entre os conceitos de calor e temperatura. Tais características, típicas do subnível IIA, nos conduzem a uma reflexão a propósito do ensino, seu planejamento e desenvolvimento.

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 transobjetal, com coordenações sistema-esquema, antes que tenham sido examinados todos os problemas decorrentes das coordenações esquema-esquema, próprias do nível inter, e eliminadas suas contradições. Dito de outro modo, Alex manifesta construções típicas dos subníveis IIIA e IIIB, sem ter esgotado todas as características do nível II.

Acompanhamos, nas produções de Alex, o estabelecimento e consolidação da hipótese da conservação da energia, bem como a análise dos fluxos de energia entre organismo e meio. Entretanto, tais construções são ainda marcadas pela indiferenciação dos conceitos de calor, temperatura e energia. Embora empregue corretamente os termos calor e temperatura, indicando o primeiro os processos de transferência e, o segundo, o índice comparativo que estabelece o sentido e a intensidade das transferências, Alex não é capaz de distinguir a energia transferida e a energia armazenada. Lidando com uma concepção de calor enquanto variável de estado, armazenado e contido no corpo, ele recorre à temperatura como única grandeza observável de que dispõe para análise dos processos térmicos. Para superar as contradições, e compor novas coordenações entre energia interna, temperatura e calor, seria necessário deflagrar outro processo de equilíbrios majorantes, de modo a compor um sistema causal mais abrangente que configurasse um modelo para a matéria e os fenômenos térmicos a nível microscópico.

É certo que Alex apresenta 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, podemos citar o engajamento intelectual com o objeto de estudo proposto, o que se manifesta na disposição de refletir sobre os fenômenos e explicações dadas por ele mesmo, por seus colegas e professora. Podemos dizer que Alex constrói o contexto de aprendizagem e assume sua direção. Ao final da entrevista, diante do questionário acerca das estratégias de aprendizagem, Alex 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.”

Essas observações nos conduzem a reflexões sobre estratégias de ensino. De fato, 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, seria razoável admitir a importância de um ensino estruturado em torno de idéias chave, cuja heurística positiva vai sendo examinada em contextos diversos. Assim, nos parece correta a decisão tomada, quando do planejamento da unidade, de antecipar a hipótese de conservação da energia e de subordinar o problema da regulação térmica nos organismos à questão, mais geral, das transferências de energia entre organismo e meio.

Assim, ao ensino centrado na “resposta correta” contrapõe-se o ensino voltado para a formação de competências. O caso de Alex indica-nos 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 será examinada sempre em seus aspectos particulares, cujas características quase sempre desviam a atenção e conduzem a respostas *ad hoc*. O que aumenta 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.

A nosso ver, os dados de Alex são exemplares, na medida em que ele vai próximo ao limite de um certo modo de conceber os fenômenos térmicos, sem o auxílio de modelos acerca da constituição da matéria, o que oferece indicadores acerca dos limites e possibilidades desse tipo de abordagem do tema. Assim, poderíamos nos perguntar: para esse tipo de

aluno que auxílio poderia oferecer uma abordagem, mesmo que lacunar e apenas 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 seriam, elas mesmas, objeto de reflexão para um novo planejamento e assim por diante, num agir – refletir - agir sem fim.

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 uma metáfora, seria como avançar sobre o território inimigo numa frente de batalha, o que exige um longo esforço posterior de consolidar posições, de conquistar territórios até então desconhecidos. Um grande número dessas novas conquistas poderia constituir-se em elemento adicional para imobilizar os 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 essa segunda hipótese. De qualquer modo, nós, professores, agimos como juizes, emitindo nossos julgamentos a partir de jurisprudências e não de verdades (Gauthier et al., 1998). O sentido do modelo de ensino proposto está exatamente em permitir tornar pública e mais reflexiva os elementos que compõem essa jurisprudência, 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. De qualquer modo, o que qualifica o ensino é justamente a capacidade de submeter seus julgamentos à reflexão e crítica.

3.3. A Trajetória de Fabiana

O caso de Fabiana é exemplar na medida em que representa aqueles estudantes que tiveram desempenho menos satisfatório no desenvolvimento do curso. Durante o primeiro mês, a aluna 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. Entretanto, apesar desse esforço, notamos que os progressos foram ainda tímidos. Passaremos a analisar, na seqüência, alguns indicadores da trajetória da aluna ao longo do curso.

De modo geral, as respostas dadas ao pré-teste configuram um olhar centrado em objetos (intraobjetal), com mecanismos explicativos inexistentes ou incipientes, posto que centrados nas suas qualidades e atributos, com poucas relações objetivamente destacadas. Assim, por exemplo, na primeira questão, o isolamento térmico da pele é considerado responsável pela manutenção da temperatura corporal. Entretanto, o isolante térmico é considerado como algo que mantém sua própria temperatura e não como revestimento que diminui as transferências de calor entre dois sistemas a diferentes temperaturas:

“A pele deve funcionar como um isolante térmico, isto é, se tiver frio ou calor a pele terá sua própria temperatura.” (Pré-Teste, questão 1)

Podemos destacar que a aluna não considera a pele enquanto fronteira entre dois sistemas (ou entre um sistema e sua vizinhança) nem tampouco as interações entre eles. A temperatura da pele é considerada pela aluna como sendo idêntica à temperatura interna do corpo, na medida em que a pele constitui parte dele. Assim, o corpo é considerado como um objeto isolado, com temperatura que lhe é própria.

Na terceira questão do pré-teste Fabiana apresenta uma cadeia causal linear, com inversão das relações causa efeito:

“Com exercícios físicos o nosso corpo transpira fazendo o corpo ficar quente, independente de calor ou frio.” (Pré-Teste, questão 3)

Os exercícios (evento A) provocam a transpiração (evento B), o que faz o corpo ficar quente (evento C). Nesse 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 assim destacar a diferença entre a simples constatação de regularidades, típica do nível IB, e o estabelecimento de vínculos causais entre os fatores em jogo.

Ao responder às mesmas questões ao final do curso (pós-teste), Fabiana avança em algumas questões, mas permanece fiel às suas representações de partida em outras. O progresso mais significativo se evidencia na resposta dada à terceira questão:

“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.” (Pós-Teste, questão 3)

Notamos aqui a presença de vínculos causais mais consistentes, embora ainda encadeados linearmente: a atividade física provoca aumento na produção de calor através da respiração celular acelerada, produzindo uma circulação sanguínea constante e rápida, que aquece o corpo. Podemos representar essas relações através de diagramas causa-efeito, como as descritas por Andersson (1986):

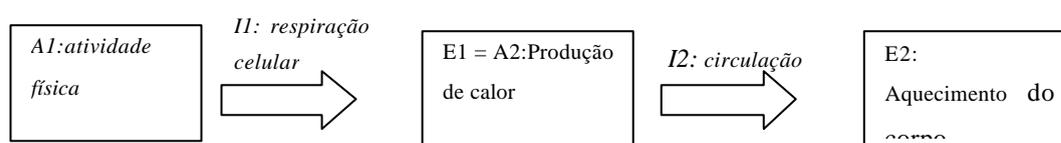


Figura 4: Diagrama representando vínculos causais utilizados por Fabiana ao explicar o aquecimento corporal que acompanha realização de atividades físicas. Legenda da figura: A1 e A2 = agentes; E1 e E2 = efeitos; I1 e I2 = instrumentos.

Em primeiro lugar, os agentes e efeitos considerados tratam de “eventos” e não apenas “objetos”. Além disso, os “instrumentos” envolvem processos abstratos – respiração celular e circulação sanguínea –, embora o texto de Fabiana não seja suficiente para inferir sua compreensão dos mesmos. Finalmente, embora linear, ela envolve um conjunto de fatores bem coordenados entre si, ainda que lacunar quanto às transformações que conduzem do primeiro agente ao seu efeito (E1) e deste ao segundo (E2). Trata-se portanto de uma explicação de tipo inte-objetal, de nível II, envolvendo coordenações esquema-esquema.

Por outro lado, outras questões do pós-teste foram respondidas a partir da 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 apresenta aspectos dicotômicos, e a “troca” de energia explica então os efeitos observados, com uma causa relativa a cada um dos efeitos, sem reciprocidade:

“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.” (Pós-Teste, questão 5)

Se compararmos o texto da aluna nas duas ocasiões, notamos que Fabiana tenta apropriar-se do discurso científico mas, na ausência 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 progresso a nível dos observáveis e das relações, mas não dos mecanismos e modelos explicativos.

Por outro lado, no teste final, a aluna oscila entre as várias formas de tratamento do problema da regulação térmica talvez em função do contexto e da forma em que lhe é apresentado. Assim, na questão 4, em que são discutidos aspectos de relações entre temperatura corporal, temperatura ambiente e temperatura da pele, a aluna retorna a atribuições de propriedades sem evocar mecanismos de interação, nem tampouco argumentos conservativos:

“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.” (Teste 2, questão 4.a)

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 são mais adequadas quando, na seqüência, a aluna 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):

“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.” (Teste 2, questão 4.b)

“Isso é possível devido à transpiração. Com ela eliminamos a energia que não é transferida por outro processo.” (Teste 2, questão 4.c)

Na entrevista, realizada 40 dias após o final dos trabalhos com a unidade, Fabiana retorna, em muitos problemas, às interpretações intra-objetais de partida. Ela começa a entrevista medindo as palavras, de modo a evitar erros. 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.

Como podemos compor uma avaliação global dos indicadores de aprendizagem de Fabiana ao longo do curso? Vista em conjunto, a análise dos dados permitem afirmar que Fabiana 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, como um todo, apresenta-se 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, Fabiana 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 conduz à 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, sem que seja acompanhado pelas necessárias revisões de seu conteúdo.

Podemos inferir ainda 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), Fabiana acaba sustentando recorrentemente a existência ontológica do frio e do calor.

Poderíamos atribuir à aluna crenças que poderíamos designar como sensualistas⁶, na medida em que atribui os conceitos de calor e frio como uma extensão das sensações térmicas ao tato. Entretanto, convém destacar que a aluna apresenta uma compreensão suficiente das diferentes sensações de objetos em equilíbrio térmico conforme a intensidade das transferências de calor com o nosso corpo. O sensualismo, portanto, recua em aspectos significativos relacionados ao comportamento dos diferentes materiais no ambiente.

Se esta interpretação for correta, entendemos hoje que poderíamos ter exercitado com Fabiana a construção de explicações causais de maior complexidade em conteúdos que fossem familiares para a aluna. A princípio, estamos de acordo com Millar (1997), segundo o qual as dificuldades dos estudantes em compor explicações causais mais elaboradas aos 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. Se essa hipótese é verdadeira, poderíamos sugerir a elaboração de atividades de ensino destinadas a promover a familiarização da

⁶ Sensualismo é o termo que designa a doutrina da “sensação transformada” de Condilac (1715-1780), segundo a qual encontramos em nossas sensações a origem de todos os nossos conhecimentos e todas nossas faculdades, por um processo de transformação, associação e abstração dos dados sensoriais (Dicionário Básico de Filosofia, H. Jupiassu e P. Marcondes, Rio de Janeiro, Zahar, 1989). No caso da aluna, o sensualismo não se apresenta enquanto doutrina filosófica, mas como crença de que percebemos o mundo tal como ele é e os conceitos podem, então, ser formados com base nas sensações e impressões. Sobre a influência do sensualismo no ensino de ciências, ver Lima (2002).

estudante com explicações causais com fatores múltiplos interdependentes e simultâneos. Para Perkins e 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.

Em sua avaliação pessoal, feita 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. De fato, Fabiana parece ter obtido alguns progressos, mas sem que isso tenha resultado em uma revisão e reflexão crítica acerca de suas próprias formulações e 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 compreendam 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 e Gitomer, 1991) seja 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 aluna 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 nossos estudantes, mas não podemos nunca prever seus resultados. Isso envolve sempre mecanismos endógenos dos quais 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 se deve, 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 um movimento de profissionalização docente, que comporta contradições e conflitos, avanços e recuos.

Conclusões e Implicações

O modelo de ensino examinado através desta pesquisa busca oferecer uma resposta a um problema de natureza pedagógica, a saber: como organizar os conteúdos do ensino e as metas de aprendizagem de forma a favorecer uma progressão nas formas de entendimento dos estudantes? O modelo propõe instrumentos de análise dos conteúdos do ensino, examinando-os a partir da perspectiva dos processos de aprendizagem. Além de servir como referência ao planejamento de seqüências ou módulos didáticos, permitem acompanhar o progresso dos estudantes, o que favorece uma regulação da condução do ensino e dos processos de aprendizagem.

Um dos problemas de gestão das atividades didáticas decorre do conflito entre características coletivas da sala de aula e a necessidade de compor uma *pedagogia diferenciada* que atenda às diferentes necessidades, interesses e habilidades dos estudantes. Enquanto as situações didáticas são essencialmente coletivas, as aprendizagens constituem-se na tensão dialética entre o individual e o social ou, ainda, na constituição das subjetividades no interior de um funcionamento intersubjetivo. Por exemplo, ao conduzir uma determinada atividade junto aos estudantes, o professor parte de uma análise das informações ou idéias preliminares que devem ser apresentadas aos alunos e da definição de quais outras devem ser construídas por inferências e descobertas a serem conduzidas pelo grupo de modo mais autônomo. Entretanto, tal análise não permite prever formas de intervenções adequadas a todos, de modo indistinto. Pelo contrário, enquanto intervém nos grupos, ela ajusta sua ação à ação dos alunos; pressupõe aquilo que seja necessário informar para que cada um possa avançar, o que

conduz a 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.

Os resultados da pesquisa dão indicadores favoráveis à hipótese de que a progressão dos conteúdos do ensino ao longo do curso tenha favorecido as mudanças cognitivas, entendidas como construção de novos significados e modos de raciocínio acerca de aspectos da realidade. Entretanto, é preciso desenvolver novos estudos, sobre novos temas e em novas circunstâncias, para verificar se também nesses casos os resultados corroboram ou enfraquecem essa hipótese de trabalho.

De modo análogo às 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 (Piaget, 1976) impõe duas restrições fundamentais aos processos de aprendizagem humana. A primeira delas 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 supõe um quadro assimilador a partir do qual o sujeito interpreta, atua e se transforma. O segundo postulado restritivo, imposto pelos processos de aprendizagem humana, consiste na impossibilidade de atingir o nível estrutural dos sistemas de compensação (transobjetal), partindo do nível dos atributos e propriedades dos objetos (intraobjetal), sem examinar e explorar uma etapa intermediária em que desenvolvem as relações e transformações dos elementos em jogo (interobjetal).

Em nossa pesquisa, tivemos a oportunidade de examinar a validade desses dois princípios. Além de identificar a influência marcante das suposições, crenças e modos de raciocínio dos sujeitos na construção de conceitos científicos, vimos ainda que nenhum dos sujeitos da pesquisa manifestaram 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, podemos dizer que 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 se atinja o equilíbrio térmico.

De outro lado, podemos dizer que as etapas de construção não são lineares, ou seja, não é verdadeiro supor que o sujeito apenas avança em direção às seguintes uma vez tendo esgotado as anteriores. Pelo contrário, o quadro que examinamos nas trajetórias dos dois estudantes ao longo do curso indicam processos dinâmicos, com idas e vindas, hesitações e certezas infundadas, lacunas e contradições. Assim, como Villani e 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 dessa pesquisa, como um modo de organizar e racionalizar os dados relativos aos processos de aprendizagem escolar, cuja dinâmica é muito mais complexa. Modelamos o real, estabelecemos certas categorias de análise que são, certamente simplificadoras, de modo a compreender os significados das descobertas dos estudantes e dos obstáculos ao seu desenvolvimento, das hesitações e conquistas do pensamento, mas sobretudo, de modo a intervir no sentido de favorecer seu progresso em direção às formas mais avançadas do pensamento científico. A nosso ver, é necessário recorrer a esses procedimentos de modelagem ao lidar com fenômenos de alta complexidade, como o são as aprendizagens escolares. Entretanto, devemos fazê-lo na condição de ter consciência 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.

Finalmente, nos parecem promissoras as possibilidades de utilizar o modelo de ensino como referencial teórico para sustentar processos de formação continuada de professores engajados na reflexão sobre a ação. Além de estabelecer alguns pontos básicos a serem observados na proposição de inovações didáticas, o modelo oferece instrumentos de análise

para a proposição de níveis de complexidade dos conteúdos do ensino, o que favorece a regulação dos processos de aprendizagem.

5. Referências bibliográficas

- AGUIAR JR., O. (2001). Modelo de ensino para mudanças cognitivas: um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências. Belo Horizonte: Faculdade de Educação, UFMG. (Unpublished doctoral thesis).
- 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.
- 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.
- CAFAGNE, A. (1996). *Concepções em termodinâmica: o senso comum e o conhecimento científico*. São Paulo: Faculdade de Educação, USP. (Unpublished doctoral thesis)
- 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.
- GAUTHIER, C., MARTINEAU, S., DESBIENS, J.F., MALO, A., SIMARD, D. (1998). *Pour une théorie de la pédagogie: recherches contemporaines sur le savoir des enseignants*. Laval: Le Presses de l'Université de Laval.
- 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.
- KARMILOFF-SMITH, A., INHELDER, B. (1975). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, v. 3, n. 3, p. 195-212.
- 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.
- 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.
- LIMA, M. E. C. (2003). Condilac e o ensino de ciências: que relações podemos encontrar ainda hoje? *Ensaio*, v. 5, n. 1. Disponível pela internet: http://www.fae.ufmg.br/ensaio/v5_n1/513.pdf.
- MILLAR, R. (1997). Comments on: Experimental facts and common ways of reasoning in thermodynamics, by Laurence Viennot. In: TIBERGHEN, 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/
- MORTIMER, E. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, v. 4, p. 267-285.
- 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. (2000). *Pedagogia diferenciada: das intenções à ação*. Trad. Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas.
- 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., GARCIA R. (1984). *Psicogênese e historia de la ciencia*. 2. ed. México: Siglo Veintiuno Editores.
- TIBERGHEN, A. (1998). Analysis of teaching and learning: how differentiating and relating them. In: MEHEUT, M., REBMAN, G. *Theory, methodology and results of research in science education*, 4th European Science Education Summerschool: Marly de Roi: ESERA, p. 32-45.
- 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.
- 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.

DATA DE RECEBIMENTO: 20/12/04

DATA DE APROVAÇÃO:10/05/05

ANEXO 1 – Pré-teste

O que sabemos sobre os processos de controle de temperatura corporal?

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?

Em um dia de calor, transpiramos muito, e nos refrescamos movimentando o ar com auxílio de um ventilador. Como você explica esses fatos?

Mesmo quando a temperatura ambiente é baixa, sentimos muito calor quando fazemos exercícios físicos. Como você explica isso?

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?

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?

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?

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!

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?

ANEXO 2 – Teste 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.

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?

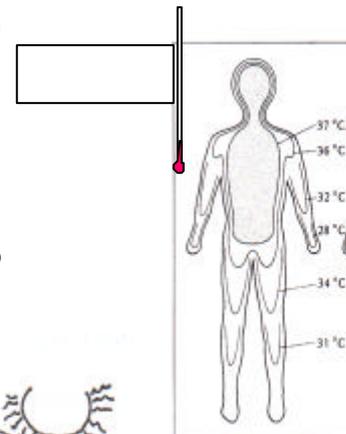
ANEXO 3 - Teste Final

- 1) O gráfico abaixo indica a evolução da temperatura de um ferro de solda, ligado à tomada e deixado sobre uma π durante 10 minutos.
 - a) A partir da leitura do gráfico, descreva o que acontece com a temperatura do ferro de solda durante a experiência.
 - b) 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.
 - c) 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) 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 pinguim 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) 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 ambiente.
- Descreva o que acontece com a temperatura de seu corpo quando a temperatura do ar à sua volta começa a aumentar, chegando a



atingir 32°C. Que fatores 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.

Anexo 4 – Protocolo para Entrevista Semi-Estruturada

- O que se pretende com essa entrevista – não faz parte de avaliação; necessidade de exprimir convicções pessoais; não precisam se preocupar em agradar ao entrevistador ou dar respostas que julgarem convenientes...; pesquisa sobre formação de conceitos científicos;...
- O que é regulação térmica ?
- Regulação térmica nos seres vivos... como isso funciona? Como se dá essa regulação, ou controle de temperatura?

- 4) Quais são as transformações que ocorrem em meu corpo em dias muito frios? E em dias muito quentes? Essas transformações requerem alguma atividade do organismo?
- 5) Suor: por que transpiramos? Como a transpiração participa dos processos de transferência de calor?
- 6) Nós transferimos sempre calor ao meio? Sempre a mesma quantidade?
- 7) O que é equilíbrio térmico? Isso sempre acontece? ... Dê exemplos... Nosso corpo está em equilíbrio térmico com o meio? Como isso é possível?
- 8) Nosso organismo produz calor? Como? A circulação sanguínea tem alguma relação com isso? Como ela participa desse processo? Produzimos sempre a mesma quantidade de calor? De que depende?
- 9) Nós gastamos energia? Em quais processos? Para manter a temperatura corporal constante nós gastamos energia?
- 10) Como se comparam a produção e o gasto de energia pelo organismo?
- 11) Você acha razoável supor que a energia se conserva em todos os processos? Ou seja, a energia pode ser transformada, mas não criada nem destruída... Dê exemplos...
- 12) Calor e temperatura - apresentar os seguintes experimentos enquanto situações problema:
 - Chama de uma vela: o que você pode dizer sobre a temperatura da chama de uma vela? Se colocarmos o dedo ali.... No entanto, eu posso pôr a mão na chama e não me queimar... como você explica isso? (se for o caso colocar o papel na chama)
 - Você já viu um prego ficar incandescente? Se colocarmos um prego desses na chama do fogão durante um tempo (cuidado pra não se queimar), ele fica avermelhado, emite uma luz avermelhada, a partir de certa temperatura (em torno de 800, 900°C). Pois bem, se colocar o prego aquecido sobre a mesa num dia muito frio (temperatura do ar em torno de 10°C) o que acontece? Descreva e explique...
 - E se eu tiver 1 litro de água fervendo e colocar também sobre a mesa: qual dos dois materiais (prego a 900°C ou água a 90°C) será capaz de transferir maior quantidade de calor para o ambiente? Como você explica isso?
 - Coloque a mão sobre o gelo... o que você sente? Será que alguma coisa acontece também com o gelo quando colocamos a mão sobre ele? Tente explicar por que isso ocorre.