

AMBIENTE DE APRENDIZAGEM PARA O MODELAMENTO DE ENERGIA

A LEARNING ENVIRONMENT FOR MODELLING ENERGY

João Paulino Vale Barbosa¹
A Tarciso Borges²

¹ Sistema de Ensino Arquidiocesano
Colégio Espanhol Santa Maria, jp.vale@uol.com.br

² Programa de Pós-graduação em Educação e Colégio Técnico / UFMG, tarciso@coltec.ufmg.br

RESUMO

Nesse trabalho, descrevemos uma proposta de modelamento do conceito de energia em um ambiente de aprendizagem que coloca os alunos como atores principais do processo de aprendizagem. O objetivo do ambiente é propiciar aos estudantes oportunidades de sofisticação dos seus modelos e de apropriação do vocabulário científico usado para falar de energia. Defendemos que a construção do conhecimento se dá através de interações recíprocas entre os alunos em uma rede de cognições mediada pelo professor, através de debates, estudos de textos e atividades experimentais, numa estratégia de alternância interações-debate. A mediação do professor, estabelecida nas ações pedagógicas, é fundamentada a partir do conhecimento inicial dos alunos, analisados a partir de um pré-teste e em depoimentos iniciais, levando-se em conta os estudos sobre concepções prévias conhecidas da literatura.

Palavras-chave: Modelos de energia; Ambiente de Aprendizagem; Modelamento; Ensino de Ciências.

Abstract

In this paper we describe a proposal for modelling the concept of energy in a student-centred learning environment. The purpose of the didactical actions is to create opportunities for the learners acquire scientific language relevant when talking about energy and to revise and enhance their understandings of situations involving that concept. We argue that knowledge construction takes place through reciprocal interactions among learners in a web of cognitions mediated by the teacher, the activities and tasks he/she proposes to the class and the resources he provided to support the students. The learning environment was designed using recursive cycles of interaction-debate among students and between learners and teacher. The teacher role was established on the grounds of what is known about students' ideas of energy.

Keywords: Models of energy; Learning environment; Modelling; Science education.

MODELOS E MODELAMENTO

Este trabalho tem como seu objetivo descrever uma proposta de ambiente de aprendizagem centrado no aprendiz para auxiliar no modelamento do conceito de energia. O objetivo das ações pedagógicas é propiciar aos estudantes oportunidades para se apropriarem da linguagem científica pertinente ao conceito de energia e de revisar e sofisticar seus entendimentos do conceito de energia, das manifestações de energia em diferentes situações, do princípio da conservação da energia, e das idéias de transformação e degradação de energia. A perspectiva de modelamento de conceitos físicos que se pretende apresentar neste trabalho está assentada em quatro argumentos principais:

A compreensão da Física como um conjunto de conceitos inter-relacionados, que por sua vez estão estruturados em um certo número de modelos básicos que constituem o campo conceitual (Hestenes, 1987; Wells, Hestenes e Swackhamer, 1995);

- O entendimento de que as concepções prévias são, de fato, um forte obstáculo epistemológico para a aquisição de conceitos científicos (Hestenes, *ibidem*, *ibidem*);
- O reconhecimento da necessidade de um ambiente de aprendizagem que propicie condições para a explicitação e revisão seus modelos (Gilbert e Boulter, 1998);
- A construção do conhecimento se dá na construção e reconstrução dos modelos mentais que os sujeitos aprendizes elaboram das situações vivenciadas (Clement, 1998).

Os dois primeiros argumentos, que sustentam a proposta de Hestenes, embora bastante difundidos entre pesquisadores em Ensino de Física, não predomina entre os professores de Física e seus formadores, como aponta Trumper (1990, 1997) e outros autores (veja Millar, 1996). As concepções alternativas não podem ser consideradas como sendo conhecimento descartável. Sendo assim, o objetivo da educação escolar não deve se a substituição de concepções e crenças comuns das pessoas e em desacordo com o conhecimento científico por conhecimentos e saberes chancelados pela escola. Ao contrário, é importante reconhecer que estas crenças e concepções não são abandonadas e são úteis em várias situações cotidianas. É mais produtivo conhecê-las, e utilizá-las como ponto de partida para alcançar o conhecimento científico.

Nessa perspectiva busca-se “ensinar por meio do conhecimento estruturado”, isto é, desenvolver ferramentas cognitivas para construir e utilizar modelos. Estes, num primeiro momento, deverão ser capazes de explicar a própria experiência física dos aprendizes, uma vez que as concepções prévias são originárias de análises não orientadas (ou erroneamente orientadas) dessa experiência¹. Hestenes aponta que o ensino de Física deveria ser voltado para o modelamento, ou seja, deveria visar o desenvolvimento de habilidades para a construção de modelos das situações em contraponto à resolução de problemas. Assim, um problema não deveria ser atacado com procedimentos matemáticos antes de ser devidamente modelado estruturalmente. O desenvolvimento de habilidades em estruturar problemas deveria vir em primeiro plano. Portanto, a

¹ Novamente, essa estratégia de ensino, bastante difundida entre pesquisadores, não encontra ressonância na comunidade de professores de Física (Trumper, *ibidem*).

estruturação de problemas ou situações experimentais subtende (e precede) o desenvolvimento de modelos.

A principal razão para adotar esta perspectiva baseada em modelos é que ela auxilia os estudantes a desenvolver um entendimento sistemático, mais sofisticado e coerente da ciência. Aquilo que os estudantes aprendem de aulas expositivas e baseadas na resolução repetida de exercícios de fim de capítulo é fragmentado e pouco coeso. Os estudantes fazem exercícios e outras tarefas sem entender o quê, e porque, estão fazendo. As aulas de física tornam-se pouco diferentes das aulas de matemática e o interesse cede espaço à desilusão.

A metodologia de modelamento organiza o currículo em torno de um número pequeno de modelos, que descrevem padrões que aparecem seguidamente ao longo do curso. Dessa forma, os estudantes tornam-se familiares com a estrutura e versatilidade dos modelos empregando-os numa variada gama de situações, para fazer previsões ou produzir explicações. Os modelos básicos podem ser usados para construir modelos mais complexos. Ao enfatizar os modelos básicos, estamos focalizando a atenção dos estudantes na estrutura do conhecimento científico.

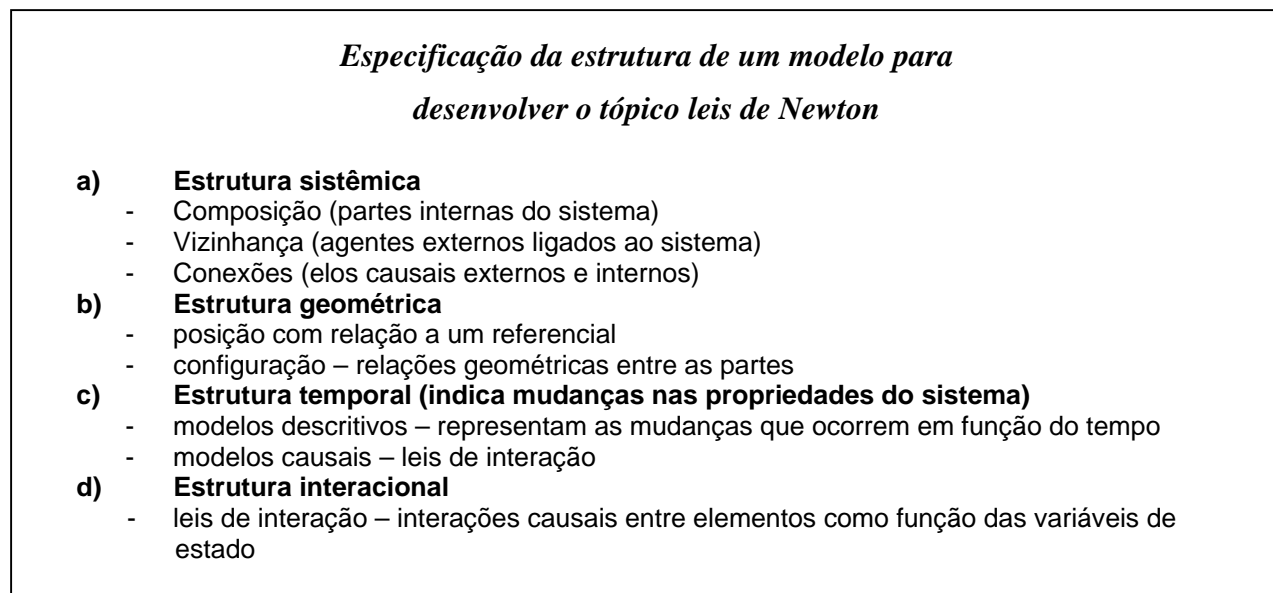


Figura 1 – Modelo de Hestenes proposto para o desenvolvimento do tópico “leis de Newton”.

Ao terceiro argumento é necessário acrescentar que ao expressar seus modelos não significa, necessariamente, que o sujeito toma consciência deles, mas fornece ao mediador suas dimensões quanto à coerência explicativa, complexidade das estruturas e abrangência. O quarto argumento leva em conta as representações internas com as quais os sujeitos enfrentam novos problemas e tratam o conhecimento novo e como essas representações são re-elaboradas para enriquecer explicações dadas a situações conhecidas ou produzir explicações para novas situações. Essa perspectiva de entendimento dos processos de aquisição de conhecimento obedece, segundo Clement e Steinberg (2002), a um esquema de progressão de modelos. Elementos externos, resultantes de representações simbólicas externas mediadas ou não, como analogias, detalhes estruturais do modelo didático-

pedagógico, dados e outras informações provenientes de outras fontes, contribuem para a progressão dos modelos.

Do ponto de vista educacional, os modelos podem ser pensados como estruturas dinâmicas criadas para resolver problemas, fazer previsões e formular explicações em situações de aprendizagem. Soluções de problemas podem ser pensadas como modelos, se puderem ser usadas para explicar o funcionamento dos sistemas/situações a que dizem respeito, e gerar previsões. Estes artefatos cognitivos são construídos a partir do conhecimento prévio do aprendiz sobre o domínio estudado, mas também delimitados por ele, já que dependem, fortemente, tanto das vivências individuais quanto da competência dos sujeitos em ativarem e aplicarem este conhecimento de acordo com as demandas das situações enfrentadas.

ESTRATÉGIA DE MODELAMENTO PARA DE ENERGIA

O modelo proposto por nós (figura 2) representa a estrutura orientadora do processo de modelamento e foi pensada para ser utilizada com estudantes do ensino médio. Não esperávamos que os estudantes tivessem conhecimentos sofisticados acerca de energia, ao contrário dos sujeitos com que Hestenes trabalhou. Nossa adaptação foi desenvolvida considerando duas outras idéias: a idéia das “*analogias-ponte*” de Clement (1998) e o referencial da cognição distribuída (Salomon, 1997; Pea, 1997).

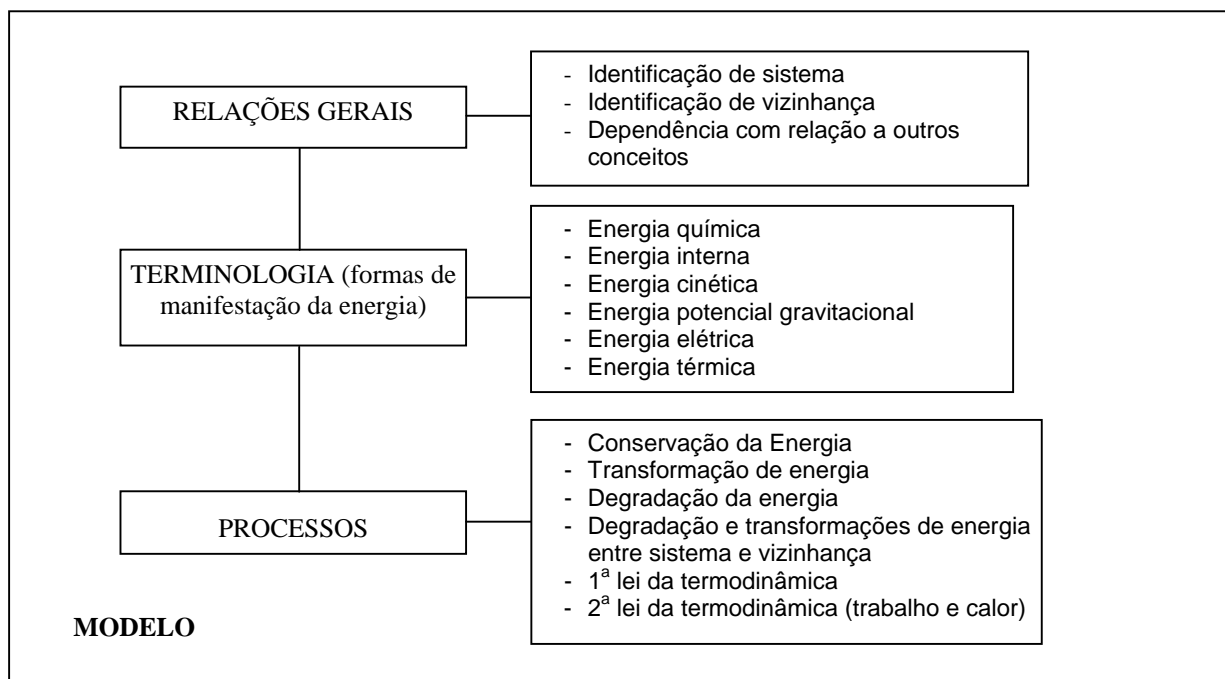


Figura 2 – Estrutura orientadora das ações pedagógicas propostas nas atividades e nas mediações do professor.

Esses referenciais foram utilizados como suportes ao desenvolvimento do ambiente de aprendizagem. O modelo de Hestenes (1987) foi desenvolvido com a preocupação de dividir o foco da aprendizagem em sistemas e que, originalmente, foi implementado pelo autor e colaboradores

para o estudo do tópico “leis de Newton”. A estrutura que nós propomos, que pareceu bastante simples quando idealizada, mostrou-se bastante complexa quando de sua implementação.

Na adaptação que fizemos destacamos três aspectos: as relações gerais, a terminologia e fenomenologia associadas às formas de energia e o princípio de conservação e os processos de transformação e degradação da energia. A noção de formas de energia cumpre o papel de suprir uma base fenomênica e um vocabulário diversificado e estável de que os estudantes podem lançar mão para a descrição e construção de explicações simples, enquanto constroem uma compreensão mais sofisticada do conceito de energia. Este é um dos conceitos chaves da ciência, mas distante das experiências cotidianas e de difícil aquisição, porque pressupõe o domínio mais amplo da mecânica e de interações. A cognição distribuída torna-se uma estrutura integradora da ação pedagógica dentro do ambiente de aprendizagem. Ela permitirá adaptar as etapas da estratégia de modelamento (figura 2) à teoria de modelos mentais.

As situações discutidas nos momentos de diálogo, nos momentos experimentais e mediadas pelo professor fornecem as *âncoras para a produção de entendimentos mais sofisticados* (figura 3). Assim, uma âncora pode ser um resultado experimental, uma medida, parte do discurso de um colega ou de um professor, um texto, uma imagem ou figura apresentada para discussão, uma analogia e outros. Nesse aspecto, o ambiente de aprendizagem propiciou riquíssimos momentos de debate, como relatado na seção final deste artigo. A perspectiva de oferecer aos alunos oportunidades de expressarem seus argumentos (para nós, manifestações de seus modelos) e de ouvir os argumentos dos colegas esteve sempre à tona em momentos de alternância âncoras-debate. É importante lembrar que as manifestações dos alunos muitas vezes podem fornecer à rede cognitiva elementos (âncoras) incorretos, por isso, nos momentos de debate, faz-se necessário a mediação do professor.

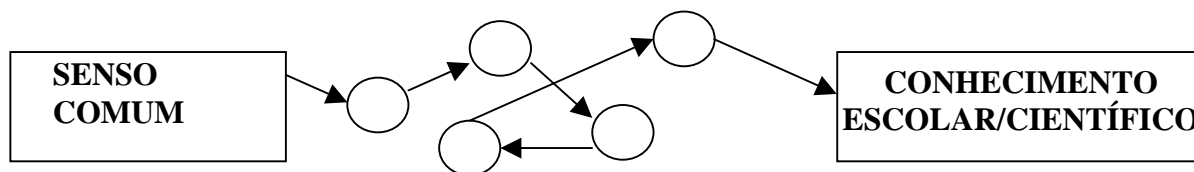


Figura 3 – Estrutura progressiva, não linear, para um determinado processo de ensino-aprendizagem. As âncoras de conhecimento são estabelecidas pelas situações de aprendizagem: estudos de textos em grupo, experimentos, contribuição dos colegas e mediações do professor.

Uma âncora de conhecimento pode ser entendida como um elo capaz de conferir uma certa estabilidade à rede de relações do ambiente de aprendizagem, possibilitando a comunicação entre os membros da classe e destes com o professor. Uma vez que o aluno seja capaz de alcançar um desses elos ele estará capacitado a dar uma resposta-estímulo aos demais elementos da rede e pode avançar cognitivamente dentro do processo.

Uma das ações pedagógicas que utilizamos foi a reunião da turma em pequenos grupos para discussão de textos. Nós optamos por preparar textos especificamente para esse fim porque, de um lado, não conhecíamos textos prontos elaborados com o nível de dificuldade considerado satisfatório, nem com a seqüência de assuntos relacionados da forma desejada. De outro lado, a

forma de elaboração dos textos – com questões para serem respondidas no decorrer da leitura ou relacionados com experimentos e demonstrações específicos– proporciona mais momentos de debate entre os componentes do grupo, e fundamenta as respostas dos alunos num debate geral futuro.

O terceiro suporte teórico adotado para o modelamento, e que nos aponta a estratégia adotada de âncora-debate-âncora-debate é apresentada por Salomon (1997). Esta perspectiva reconhece a contribuição dos vários agentes na classe para a cognição (distribuída entre pessoas, objetos e ferramentas), mas não descarta a cognição individual, com o argumento de que não há cognição distribuída sem cognição individual. Além disso, consideramos que o aprender é um ato individual (quem aprende é o indivíduo), mas a cognição pode e deve ser um ato social e coletivo. Destacam-se dois pontos importantes na perspectiva de Salomon. O primeiro aponta o tipo de interação existente entre as partes do sistema – a construção de conhecimento em um sistema de cognições distribuídas não pode ser vista através de elementos isolados desse sistema e as relações e operações entre elementos cognitivos do sistema são dinâmicas e interdependentes. O autor argumenta que ela pode ser interpretada como um paradoxo: ao mesmo tempo em que um elemento não pode ser totalmente determinado pelo sistema, ele sofre alterações pela interação com outros elementos. Trata-se de um modelo de interação recíproca:

“Especificamente, a hipótese geral deveria ser que os ‘componentes’ interagem uns com os outros em um modelo espiral, em que as participações individuais, através de atividades colaborativas, afetam a natureza da associação do sistema distribuído, o qual volta a afetar suas cognições tais que sua participação subsequente é alterada, resultando numa subsequente alteração dos desempenhos nas atividades e produtos daquela associação”. (pág. 122).

A interação recíproca tem lugar dentro das atividades nas quais as cognições estão divididas. Com isso, admite-se que, em um ambiente de aprendizagem, a interação entre as partes do sistema distribuído de cognições, através de competências individuais específicas (dos alunos e do professor), da mediação do professor e de diversas representações simbólicas expressas nas atividades programadas (debates, atividades experimentais, textos, esquemas, gráficos, figuras), interferem na rede, provocando o desenvolvimento espiral do conjunto e de “resíduos cognitivos” nos alunos (figura 4).

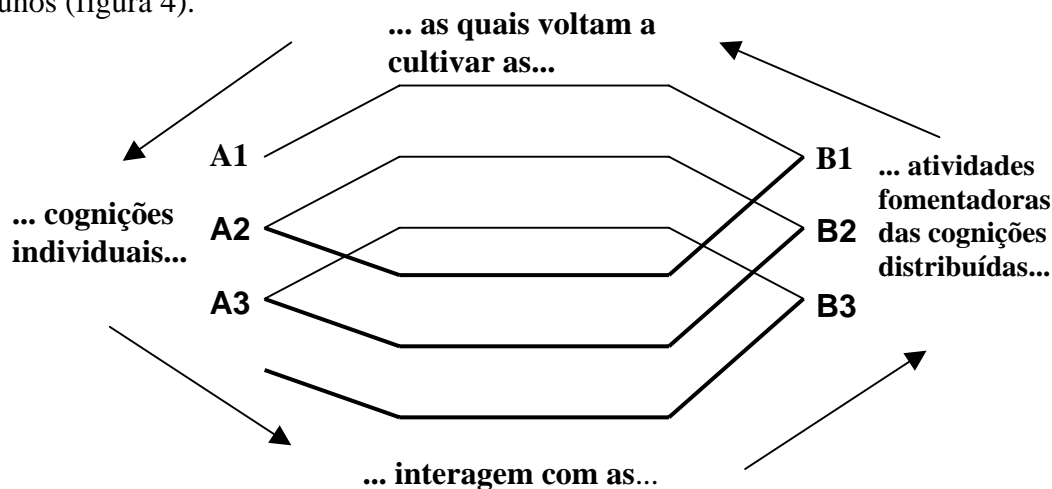


Figura 4 – Relação entre as cognições distribuídas e as cognições individuais

A perspectiva de que modelos mentais são construções dinâmicas disparadas pelas condições do ambiente em que a situação-problema está inserida (meio social, aspectos físicos do ambiente, situação nova, motivação) permite um diálogo entre a teoria dos modelos mentais e a cognição distribuída. A figura 4, mostrada acima, indica o que seria a relação entre as cognições distribuídas e as cognições individuais (resíduos cognitivos, na visão de Salomon) que os indivíduos constroem ou modificam durante as atividades realizadas em um ambiente social, e especificamente, na sala de aula.

DAS CONCEPÇÕES PRÉVIAS DE ENERGIA A UMA ESTRUTURAÇÃO DE MODELOS MENTAIS

Há na literatura de ensino de Ciências uma gama de publicações que analisam as concepções prévias de estudantes sobre energia no contexto escolar (por exemplo, Driver, 1994; Duit, 1987; Duit e Haeussler, 1995; Trumper, 1997; Ioannidis e Spiliotopoulou, 1999; Watts e Gilbert, 1985).

Todos esses estudos indicam que os estudantes mostram uma tendência de dedicar mais atenção e dar maior importância às características observáveis dos fenômenos estudados, em detrimento de algumas idéias abstratas. É o caso do conceito de energia, que é muito utilizado no cotidiano científico e acadêmico, mas que no contexto escolar, é colocado de lado pelos estudantes quando vão explicar os vários sistemas e fenômenos naturais que estudam. Assim, os estudantes lançam mão de concepções prévias, estruturas conceituais e modelos mais próximos e sua experiência cotidiana do que aqueles encontrados nas lições escolares. Trumper (1997) apresenta dois resultados principais de seu estudo:

“1- Antes de estudar Física, as estruturas alternativas mais persistentes, utilizadas por quase todas as crianças, eram: (a) antropocêntrica, (b) causa – energia provoca os acontecimentos (faz as coisas acontecerem), (c) produto – a energia é um subproduto de certos processos”.

“2- Depois de passar pelo primeiro curso de Física, as crianças geralmente continuam a apresentar as mesmas estruturas alternativas que possuíam antes do estudo formal”. (pág 159).

Watts e Gilbert (1985) lembram que os estudantes têm dificuldades para imaginar qualquer objeto inanimado como possuindo certa quantidade de energia a não ser nos casos em que esta energia possa estar armazenada e neste caso, serem responsáveis por desencadear os fatos ou fenômenos observáveis (fazer as coisas acontecerem). Os exemplos mais comuns são baterias, centrais de força, petróleo ou carvão mineral.

Dentro do movimento das concepções prévias (Watts, 1983; Watts e Gilbert, 1985; Gilbert e Pope, 1986; Driver et al, 1994) foram realizados os primeiros estudos que pretendiam caracterizar modelos de energia agrupando certas categorias de respostas dos estudantes. Uma abordagem feita por Gilbert, Pope e Watts, está centrada em um sistema de categorias ao qual são submetidos os depoimentos/discursos dos alunos. Segundo Watts tais estruturas seriam:

- Antropocêntrica - Energia associada com seres humanos ou onde objetos são vistos como se possuíssem atributos humanos.

- Reservatório (depósito) - Alguns objetos possuem energia e são recarregáveis, enquanto outros precisam de energia e gastam o que obtêm.
- Substância (ingrediente) - energia é um ingrediente "adormecido" dentro dos objetos, que são ativados por um dispositivo de disparo.
- Atividade - energia como uma atividade óbvia, no sentido de que havendo atividade, há energia.
- Produto - energia é um subproduto de um estado ou de um sistema.
- Funcional (combustível) - energia vista como uma idéia muito geral de combustível associada a aplicações tecnológicas que visam proporcionar conforto para o homem.
- Fluido – energia vista como um certo tipo de fluido transferido em certos processos.

Greca e Moreira (1998) chamam a atenção para o fato de que a corrente das concepções prévias não alcançou resultados efetivos no ensino de Física, gerando um discreto sentimento de frustração. De toda forma, os trabalhos de Gilbert, Pope, Watts, Driver e outros retratam o esforço dos pesquisadores em aproximar as concepções alternativas descritas na literatura de uma teoria que pudesse propor explicações para aquelas concepções. Acreditamos que uma abordagem baseada em modelos possa oferecer esse suporte.

As estruturas sugeridas por Gilbert e Pope (opus cit), também presentes de forma sintetizada no trabalho organizado por Driver et al (opus cit), representam categorias que evidenciam a utilização de modelos muito simples e com características ontológicas que remetem à substancialização da energia. Estas categorias são indicadores das características dos modelos mentais iniciais de energia dos estudantes ao final quando concluem o ensino fundamental. Excetuando-se a primeira e a quarta categorias descritas por Watts, as demais têm caráter ontológico de substância.

A *conservação da energia* é um dos aspectos mais importantes com relação a este trabalho. Essa propriedade, antes de qualquer instrução, não é vista como necessária pelos estudantes (Duit², citado por Driver et al, opus cit.). Os estudantes conseguem fazer previsões qualitativas corretas sobre altura e velocidade final, para uma bola num trilho em forma de U, mas poucos utilizam a idéia de transferência de energia para justificar suas previsões. Em nenhum momento é mencionada qualquer idéia em que esteja relacionada à transformação de energia. Black e Solomon³ (citados por Driver et al, opus cit.) assinalam que alguns estudantes reconhecem o princípio da conservação da energia, mas ainda raciocinam como se a energia pudesse ser consumida ou desaparecer. Cerca de 15% dos estudantes utilizam idéias de transformação e dissipação da energia e 30% reconhecem que a energia pode mudar sua forma de manifestação. Uma maioria de crianças (79%) não considera que

² DUIT, R. Students' notions about energy concept – before and after physics instruction. In: JUNG, W.; PFUNDT, H., RHONECK, C. von (eds.). **International workshop in problems concerning students' representation of physics and chemistry knowledge (Atas)**, 14-16 setembro de 1981, Pedagogische Hochschule, Ludwigsburg, pág. 268-319. 1981.

³BLACK, P.; SOLOMON, J. Life world and science world – pupils' ideas about energy. In: HODGSON, B.; SCANLON, E. (eds.). **Approaching primary science**, Hooper education series, Open University, Milton Keynes, 1985.

processos biológicos, tais como a respiração, envolvam conservação de energia. Normalmente, neste contexto, eles imaginam que a energia é criada e utilizada em reações subsequentes (Gayford, 1986).

A partir destes estudos sobre as concepções prévias torna-se possível apontar características estruturais importantes dos modelos mentais dos estudantes: a energia é substancializada, algo concreto que se pode transferir de um corpo a outro; é utilizada com sentido diversificado, tendo um significado específico para cada tópico estudado, e dependendo da situação ou problema, a energia poderia ser criada ou destruída, como no caso da energia dos combustíveis que é produzida ou liberada na combustão, ou da energia elétrica de uma pilha que é ‘gasta’ para acender uma lâmpada.

O modelo de ensino utilizado como alvo é aquele apresentado na figura 2, apresentada anteriormente em que o foco principal do modelo são as propriedades que estruturam o conceito de energia: transformação, conservação e degradação.

As ações pedagógicas foram planejadas, inicialmente, a partir dos dados disponíveis sobre concepções prévias já mencionados neste trabalho, e orientadas com base nos depoimentos dos próprios alunos no pré-teste e nos sucessivos debates promovidos em sala de aula. O pré-teste pode ser considerado a primeira etapa da primeira fase de modelamento, pois ele permitiu delinear os modelos iniciais dos estudantes. Com esse primeiro levantamento e tendo em vista a estrutura teórica apresentada, passamos à segunda etapa da primeira fase de modelamento: de posse das respostas dadas ao pré-teste e a partir delas, iniciamos um debate em sala de aula mediado pelo professor, oportunizando aos alunos expressar suas idéias complementando suas respostas dadas por escrito. Para começar o debate nós repetimos algumas questões do pré-teste solicitando a alguns alunos que respondessem novamente, porém agora oralmente, às vezes contrapondo suas próprias respostas escritas ou a de um colega. É importante notar aqui, que o objetivo, nessa etapa, foi promover momentos em que eles pudessem expressar seus modelos, e não que aprendessem, no sentido tradicional do termo. A atuação do professor como mediador do debate, com maturidade suficiente para evitar ou postergar respostas imediatas, possibilitou a construção de uma rede de cognições em que os alunos foram os principais interlocutores.

O diálogo seguinte ilustra a riqueza do debate sobre uma das figuras do pré-teste (a chama de uma lamparina) e a rede cognitiva em funcionamento:

Pesquisador – Por que você acha que não tem energia no fogo?

José – Na lâmpada tem energia, mas o que faria haver combustão suficiente para haver energia no fogo? A única coisa que alimenta o fogo não são os gases que existe no ar? Gás carbônico, oxigênio... Essas bobeirinhas aí...

Fátima – Eu acho que no fogo não tem energia não. A única coisa que leva a ter o fogo, por exemplo, como a Mary me falou: “acende o fósforo e tal...”, não tem nada que leve o fogo a ter energia não, eu acho...

Pesquisador - A chama de um lampião, por exemplo. O que tem que ter no lampião para ter chama?

Fátima – O gás.

Pesquisador - E gás, tem energia? Querosene tem energia? Ou não?

Fátima – É, pode ser... [expressando dúvida].

Pesquisador - Mas a chama, em si, não tem energia não?

Fátima – Eu acho.

Mary – Eu acho que não tem energia não, sabe por quê? Você pega o fósforo e risca e vai lá e acontece o fogo.

Fátima – Igual uma fogueira... acende... lá não tem energia não.

Ana Lúcia – O trem movido a vapor. O fogo tem energia pra passar vapor pra máquina andar assim. No caso do lampião tem que ter um combustível ali que passa energia pro fogo, pra poder acender a chama.

Fred – Eu acho que tem energia porque o fogo é uma combustão. E toda combustão tem energia. Igual um carro em movimento, tem combustão que vai fazer ele mover. No caso do lampião, o querosene vai ser aquecido e vai entrar em combustão... e vai dar o fogo.

Eliane - Quando o gás tá fechado, você aperta um botãozinho e sai fogo ali porque tem energia.

Fátima – Você aperta o botão daquela coisa, mas não acende, não tem o gás. [Vemos que a estudante não percebe nenhuma interação que mantenha a chama acesa. Ela é capaz de observar a chama como processo independente].

Ciro – Não tem nenhum fio ligado nela, nenhuma carga elétrica passando pra chama não... pra dar energia pra ela acender... combustão é só combustão mesmo.

Bete – A chama tem energia sim. Por que a eletricidade vem da água e a água possui dois gases, o hidrogênio e o oxigênio. Se a combustão da chama vem dos gases que envolvem ela, porque não pode ter energia?

Guilherme – O fogo em si não tem energia, mas o fogo não vai começar do nada, tem a energia que alimenta o fogo, pode ser gasolina, álcool ou outro material inflamável, mas o fogo não tem energia.

Jorge Bruno – Há outras formas de energia... Não podemos definir energia por energia elétrica... O fogo tem uma energia que não é elétrica...

Pesquisador – Mas, você teria um nome para essa energia?

Jorge Bruno – Olha, existe, é... A combustão, por exemplo... Eu não sei se é o nome apropriado, mas é também uma forma de energia.

[Fred pede para retomar a discussão sobre a chama associada a combustíveis]:

Fred - Pra fazer fogo não precisa de um objeto inflamável não. Os macacos pegavam um pau redondo, rodavam [fazendo um gesto explicativo], faziam um movimento com a mão, em cima de uma folha...

Ana Lúcia – Eu concordo que não é só com objetos inflamáveis... Mas tem que ter um movimento... tem um movimento que gera a energia para acender.

Com o debate gravado em vídeo, foi possível levantar dados adicionais e analisá-los para estudar os modelos iniciais dos estudantes (de toda a turma) que seriam levados em conta nos próximos debates.

A segunda fase de modelamento se deu através da promoção de estudos de textos em grupos. Os textos⁴ foram produzidos especialmente para esta fase. No decorrer da leitura os alunos tinham que responder a algumas questões ali inseridas com a intenção, mais uma vez, de fomentar o debate. Ao fim do estudo de dois ou mais textos, promovemos novo debate com toda a turma, partindo agora das questões inseridas no texto e respondidas pelos alunos.

Os dois primeiros textos⁵ introduziram as formas de energia: cinética, potencial gravitacional e elétrica, dando ênfase aos processos de transformação e conservação da energia no âmbito da mecânica. Se compararmos os termos usados pelos alunos nesse segundo debate em sala de aula, verificaremos que é evidente o enriquecimento da terminologia, embora o uso dos termos “transformação” e “conservação” da energia ainda não possam definitivamente ser considerados como descritores de processos. Além da comparação com a terminologia da fase anterior, pode-se notar no trecho abaixo, que o professor trabalha as relações do conceito de energia com outras grandezas físicas a ele relacionadas.

Professor – O que é energia gravitacional?

Ciro – altura, queda do corpo.

Professor [agora se referindo a uma questão do texto e se dirigindo a um grupo de alunos] – Por que vocês colocaram igual na pergunta (Q1.1 do texto 1)?

Walter [lê a pergunta – “Seguindo essa idéia, o que acontece com a energia potencial gravitacional do objeto imediatamente antes de tocar o solo?”. A seguir dá a resposta do grupo] - Pelo que entendemos a energia que tá na água que tá para cair é igual à da água que está chegando.

Professor – O que acontece com a energia entre o “em cima” e o “em baixo”?

Walter – Perde uma energia e ganha outra.

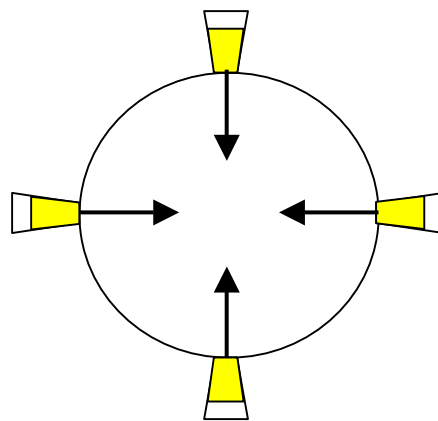
Ana Lúcia – Conforme perde energia gravitacional ganha energia cinética.

Professor – O que é esse “perder” e esse “ganhar”?

Walter – Na verdade, vai haver energia sempre. Há uma transformação.

Jorge Bruno – A gravitacional é porque simplesmente um corpo cai no ar e a cinética é porque ela se move em qualquer sentido?

Professor – Mas, então, o que é energia potencial gravitacional?



⁴ A apresentação dos referidos textos aqui não foi possível, evidentemente por falta de espaço.

⁵ Textos: “Energia potencial gravitacional e energia cinética” e “A queda dos corpos e a obtenção de energia útil para a humanidade”.

Jorge Bruno – Se ela está parada num local, por exemplo, ela tem um certo número de energia potencial, correto? Por exemplo, uma lâmpada no teto, se ela movimenta ela vai ganhar energia cinética. Mesmo parado, tá no alto, tem energia potencial.

Eliane – O vaso de 3 quilos tem mais massa molecular do que o outro.

Ciro – O peso. Você lembra que você fez um desenho... [se dirigindo ao professor] você falou que a energia potencial gravitacional que tá no núcleo é que atrai.

Professor [ele desenha no quadro enquanto fala] – A força gravitacional está puxando os copos para o centro dos planetas... no caso, a Terra.

Professor – Existe força gravitacional sobre a luminária?

Jorge Bruno – Existe. Porque existe a atmosfera. Por que se soltar ela lá, certamente ela vai cair.

Jorge Bruno – Tem, por que ele tá parado. Tá sem movimento.

[Considerar essa resposta do Jorge Bruno no contexto. Ele responde causalmente, mas no contexto, ele parece que compreendeu que tem energia porque está a uma certa altura].

Professor – Quais são as características que definem a energia gravitacional?

Todos – Altura e massa.

Professor – Se soltar, o que vai acontecer então, com a energia que o corpo tem?

Ciro – Transformar.

Ana Lúcia – Igual um termômetro - meio a meio [gesticulando mostrando um termômetro]. Conforme vai descendo até chegar no nível do meio, uma vai baixando. Não digo que está acabando, simplesmente está deixando de ser energia gravitacional para ser energia cinética.

[A aluna busca, espontaneamente, uma analogia].

Os depoimentos desses alunos, nesse momento, expressam uma situação de reflexão sobre suas próprias respostas e também as dos colegas e expõe algumas concepções prévias bastante conhecidas (exemplo: linha 17). De maneira ainda muito precária, mas evidente, eles estão (re)construindo seus modelos através de modificações estruturais previstas na sistematização do modelo pedagógico proposto (vide figura 3): *relações com outros conceitos*, no caso, massa, altura e velocidade; *enriquecimento da terminologia*, que expressam as formas de energia cientificamente aceitas; e *reconhecendo processos* (transformação e conservação da energia). Nota-se também, a mediação do professor no sentido de dirigir o debate para o objetivo estabelecido no modelo de ensino previamente discutido, mantendo a discussão na direção da compreensão do conceito, relacionando-o às mudanças no mundo físico, entendidas como processos dinâmicos.

CONCLUSÕES

A (re)construção dos modelos, relacionada às estruturas ontológicas, é fundamental ao desenvolvimento de modelos mais sofisticados e abrangentes, uma vez que o conceito de energia pode e deve ser associado a processos de transformação de estados físicos, relacionados a eventos

naturais ou não. Reconstrução de estruturas ontológicas, enriquecimento de terminologia e atribuição de relações a outros conceitos, pressupõem a incorporação de novos elementos (*resíduos cognitivos*) compartilhados da rede cognitiva estabelecida no ambiente.

Em um outro trabalho, Wells, Hestenes e Swackhamer (1995), criticam o método tradicional de ensino (chamado por eles de exposição-demonstração), ressaltando que ele tem graves entraves: fragmentação do conhecimento, passividade dos estudantes, e persistência das concepções ingênuas acerca do mundo físico. Eles apresentam o ciclo de modelamento através de objetivos instrucionais ambiciosos e estratégias de ação pedagógica que incluem o uso de laboratório e uma obrigação de seqüência curricular menos rígida; o que nos parece longe bastante da realidade do ensino de Física em nosso país. Além disso, a forma de apresentação dos ciclos de modelamento nos trabalhos de Hestenes (e seu grupo), propõe promover a construção de ferramentas para “modelar objetos e processos físicos através de ferramentas matemáticas, gráficas e representações diagramáticas (pág. 22)”. Na nossa concepção, esse foco particular do processo de modelamento é substituído pelo desenvolvimento de estratégias cognitivas. Essas estratégias, baseadas nas teorias da cognição distribuída e da evolução de modelos, buscam melhor estruturar os modelos iniciais dos estudantes a partir de suas concepções prévias, o que de fato, diferencia nossa concepção de ensino daqueles pesquisadores, devido a realidades de ensino diferentes.

Não é possível, neste artigo, comentar os desdobramentos e resultados da implementação dessa estratégia. Eles podem ser obtidos em outros trabalhos (veja: Borges e Barbosa, 2005; Barbosa, 2003; Barbosa e Borges, 2004), mas gostaríamos de ressaltar a riqueza dos debates, no âmbito pedagógico, obtidos com o ambiente de aprendizagem, principalmente por levar os alunos da passividade à atividade e permitir uma mediação positiva por parte do professor.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, João Paulino V. **Evolução dos Modelos Mentais de Energia**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (Dissertação de Mestrado), 2003.
- BARBOSA, João Paulino V.; BORGES, A. Tarciso. Modelos iniciais de energia. In M. A. Moreira (Org.) **Atas do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru, 25 a 29 novembro de 2003. Porto Alegre: ABRAPEC. 2004. p. 1-12.
- BORGES, A. Tarciso; BARBOSA, João Paulino V. Aspectos estruturais dos modelos iniciais de energia. Comunicação apresentada no **V ENCONTRO DE PESQUISA DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**. 29/11 a 02/12. Bauru, SP. 2005.
- CLEMENT, John. Learning via model construction and criticism. In: GLOVER, J. A.; RONNING, R. R.; REYNOLDS, C. R. (eds). **Handbook of creativity**. New York: Plenum Press, 1989.
- _____. Expert novice similarities and instruction using analogies. **International Journal of Science Education**, vol.20, n.10, p.1271-1286, 1998.
- CLEMENT, John; STEINBERG, Melvin S. Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A “learning-aloud” case study. **The Journal of the Learning Science**, vol. 11, no. 4, p. 389-452, 2002.

- DRIVER, Rosalind et al. **Making sense of secondary science – Research into children’s ideas**. New York: Routledge, 1994.
- DUIT, Reinders. Should energy be illustrated as something quasi-material? **International Journal of Science Education**, vol.9, no. 2, p.139-145, 1987.
- DUIT, Reinders; HAEUSSLER, Peter. Learning and teaching energy. In FENSHAM, Peter al (eds): **The content of science (A construtivist approach to its teaching and learning)**. London: The Palmer Press, 1995.
- GAYFORD, C. G. Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. **European Journal of Science Education**, vol. 8, no. 4, p. 443-450. 1986.
- GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn J. Aprendendo Ciências Através de Modelos e Modelagem. In COLINVEAUX, Dominique (Org.) **Modelos e Educação em Ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, 1998.
- GILBERT, John K. and POPE, M.: Small group discussions about conception in science: a case study, **Research in Science and Technological Education**, vol. 4, p. 61-76, 1986.
- GRECA, Ileana M.; MOREIRA, Marco A. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, vol. 15, no. 2, p. 107-120. 1998.
- HESTENES, David. A Modeling Theory of Physics Instruction. **American Journal of Physics**, Vol.**55**, p. 440-454 (1987).
- IOANNIDIS, G. S.; SPILIOPOULOU, V.; Childrens Drawings and Stories about Energy. **Second International Conference of the European Science Education Research Association (ESERA) (Atas)**, vol. 1, p. 95-97, 1999.
- MILLAR, Robin. Towards a science curriculum for public understanding. **School Science Review**, vol.77, n. 280, p. 7- 18. 1996.
- PEA, Roy D. Practices of distributed intelligence and designs for education. In SALOMON, Gavriel (Ed). **Distributed Cognitions. Psychological and educational considerations**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- SALOMON, G. No distribution without individuals cognition: a dynamic interactional view. In GAVRIEL SALOMON (Ed) **Distributed Cognitions. Psychological and educational considerations**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- TRUMPER, Ricardo. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept – part one. **International Journal of Science Education**, vol.12, no.4, p. 343-354, 1990.
- _____. The need for change in elementary school teacher training: the case of the energy concept is an example. **Educational Research**, vol.39, no.2, p.157-174, 1997.
- WATTS, D. Michael. Some alternative views of energy. **Physics Education**, vol. 18, pág. 213-216, 1983.
- WATTS, D. Michael and GILBERT, J. K. **Appraising the understanding of science concepts: energy**. Guildford: Department of Educational Studies, University of Surrey. 1985.
- WELLS, Malcolm; HESTENES, D. and SWACKHAMER, G. A Modeling method for high school physics instruction. In: **American Journal of Physics**, 63(7), p. 606-619, 1995.