

MODELOS INICIAIS DE ENERGIA

João Paulino Vale Barbosa¹

Programa de pós-graduação da FAE/UFMG

jpaulino@uai.com.br

Antônio Tarciso Borges

Programa de pós-graduação da FAE e COLTEC-UFMG tarciso@coltec.ufmg.br

Resumo

Este trabalho apresenta a primeira fase de uma pesquisa sobre evolução dos modelos mentais de energia realizada entre alunos da primeira série do ensino médio do curso noturno de uma escola da rede pública de ensino em Belo Horizonte. O presente trabalho começa com uma análise das concepções sobre energia para toda a turma com suporte na teoria de campos conceituais de Vergnaud. Essa teoria foi utilizada para tentar compreender porque as respostas dadas pelos alunos às situações apresentadas no pré-teste parecem tão confusas e díspares, como se jamais pudessem ser associadas a um mesmo princípio. A partir dessa análise dirigimos a atenção para dois casos (dois alunos selecionados dentre o grupo). A análise desses dois casos pretende destacar aspectos ontológicos e causais de seus modelos iniciais dos alunos. No aspecto ontológico buscamos apoio nos trabalhos de Chi (1994) e de Mariani e Ogborn (1991), e no aspecto causal nos baseamos nas idéias de Kuhn (1977).

Palavras-chave: Aprendizagem de Energia; Modelos; Modelos Mentais; Ontologia; Causalidade.

Introdução

Vergnaud², citado por Moreira (2002) sugere que, quando um indivíduo é colocado diante de uma situação nova ele pode não dispor dos invariantes operatórios necessários à conceitualização daquela situação para produzir uma explicação aceita como cientificamente correta. A teoria de Vergnaud pressupõe que um conceito é formado por três conjuntos interligados (um triplete): $C = (S,R,I)$; em que S representa um conjunto de situações; R, um conjunto de representações simbólicas (linguagem natural, gráficos, diagramas, sentenças formais, etc); e I, um conjunto de invariantes operatórios (objetos, propriedades e relações).

Moreira (2002), esclarece que:

“enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com os teoremas e conceitos-em-ação, no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa”. (pág. 12).

Assim, nosso ponto de partida foi analisar as respostas dadas a um pré-teste por todos os alunos da turma, o que possibilitou evidenciar a dificuldade inicial que o conceito de energia

¹ Rua Minerva, 735 ap 301

30720-580 – Belo Horizonte – MG

² VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In: Carpenter, T., Moser, J. E Ronberg, T. **Addition and subtraction. A cognitive perspective**. Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum, pág. 39-59, 1982.

representa para eles. No nosso entendimento, na teoria de Vergnaud, a ação do sujeito é motivada pela situação e os invariantes operatórios seriam representações que ocupariam a função de organizar essa ação do sujeito sobre a situação.

Com base nas idéias de causalidade de Kuhn (1977), nós identificamos, nas falas e respostas dos alunos, três tipos de estrutura causal que denominamos: *causalidade restrita de primeira ordem*, quando a explicação do aluno pressupõe um agente causal e um efeito a ele relacionado; *causalidade restrita de segunda ordem*, quando além da identificação do agente e receptor (da ação), torna-se explícita a presença da energia (ou outro agente) como entidade mediadora entre agente e receptor; e a *causalidade auto-suficiente*, em que a energia toma o lugar do próprio agente causal.

Além dos aspectos causais, analisamos também aspectos ontológicos relacionados à conceitualização de energia. Tais aspectos, por sua vez, se encontram incorporados nas respostas dos alunos e dizem respeito às seguintes tensões ontológicas: coisas *versus* processos, caráter estático *versus* dinâmico; algo material *versus* imaterial, algo abstrato *versus* concreto.

O material empírico foi obtido através de três fontes: um pré-teste contendo 21 figuras, em que os alunos deveriam assinalar aquelas que considerassem relacionadas à energia, dando no verso dele uma curta justificativa para sua opção; gravação em vídeo, na sala de aula, de um debate sobre o pré-teste; e entrevista em separado com um grupo de alunos previamente selecionados para esse estudo.

Análise do material empírico

A tabela 1 mostra dados relativos (de toda a turma) às situações específicas do teste, de onde podemos verificar que aquelas mais assinaladas podem ser associadas a conhecimento declarativo/fenomenológico, pois são situações prototípicas sempre presentes nos meios de comunicação ou nos conteúdos curriculares estudados nas séries anteriores: lâmpada acesa (94%); som de alto-falantes, futebol e menino de bicicleta (89%); carro em movimento (86%); conjunto lâmpada-pilha (83%); sol-planta (77%); transmissão via satélite e pilha elétrica (71%); usina nuclear e foguete espacial (69%).

SITUAÇÃO	DESCRIÇÃO	ABSOLUTO		PERCENTUAL	
		ASSINA-	NÃO	ASSINA-	NÃO
4	Lâmpada acesa	33	2	94	6
1	Música (som de alto-falantes)	31	4	89	11
5	Jogador chutando uma bola (futebol)	31	4	89	11
8	Menino de bicicleta	31	4	89	11
13	Carro em movimento	30	5	86	14
19	Conjunto pilha-lâmpada	29	6	83	17
18	Sol-planta	27	8	77	23
2	Transmissão via satélite	25	10	71	29
21	Pilha elétrica	25	10	71	29
6	Usina nuclear	24	11	69	31
10	Foguete espacial em lançamento	24	11	69	31
12	Sistema Terra-Lua	22	13	63	37

20	Prato com alimento	21	14	60	40
7	Chama de uma lamparina	19	16	54	46
15	Molécula	17	18	49	51
3	Petróleo	16	14	46	54
11	Engrenagens	15	20	43	57
17	Arco esticado	12	23	34	65
9	Mola esticada	11	24	31	69
16	Esfera parada sobre a mesa	6	29	17	83
14	Estatueta	4	31	11	89

Esse resultado mostra que algumas situações típicas da ciência escolar são reconhecidas por poucos alunos (9, 14, 16, 17), exatamente aquelas que tratam de formas de energia que não são comuns no cotidiano: energia potencial e energia térmica (ou interna).

A tabela 2 foi construída a partir de termos que surgiram das próprias respostas dos alunos, que tomamos como categorias que representam as “formas” de energia que eles percebem (coluna C1). Essas categorias representam situações prototípicas, baseadas no senso comum, na experiência e no conhecimento factual dos alunos, que podem ser associadas à energia. Na coluna “*situações de referência (figuras)*”, (C2), enumeramos as situações aceitas como representativas daquela categoria. Para estabelecer quais categorias seriam aceitas como representativas para cada situação, nós identificamos entre elas, quais poderiam ser associadas às categorias propostas. Foram consideradas aceitas aquelas categorias que obtiveram um índice maior ou igual a 2/3 do total de respondentes. A coluna seguinte, (C3), indica o total das “*situações de referência*” indicadas na coluna anterior. Esse valor foi multiplicado pelo número de alunos da turma (35 alunos). O resultado produziu um valor normalizado (coluna C5), com o qual podemos comparar as respostas dadas pelos alunos ao teste. Os valores aí lançados representam, dessa forma, o máximo de contagens possíveis no teste aplicado à turma. Por exemplo, o valor de referência atribuído à categoria “calor” é “10”, o que significa que, entre todas as situações (as 21 figuras do teste), a dez delas, seria possível associar a categoria “calor” (coluna C3). Portanto, se multiplicamos esse número por 35, obtemos o máximo de atribuições possíveis para aquela categoria, desde que toda a turma tivesse assinalado aquela opção.

TABELA 2

CATEGORIA	SITUAÇÕES DE REFERÊNCIA (FIGURAS)-C2	ASSOCIAÇÕES FEITAS PELOS ALUNOS (C4)	VALORES NORMALIZADOS (C5) (C5) = (C3)x(35)	PERCENTUAL (C4/C5)
Movimento	5, 8, 10, 11, 13, 17	69	210	33
Eletricidade	1, 2, 4, 6, 13, 19, 21	73	245	30
Atividade física	5, 8, 17	24	105	23
Alimento	15, 18, 20	16	105	15
Luz	4, 7, 10, 18, 19	27	175	15
Combustível	3, 6, 7, 10, 13, 15	30	210	14
Vida	18, 20	9	70	13
Som	1, 2, 5, 10, 11, 13	24	210	11

Ondas	1, 2	6	70	9
Calor	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 18,19	28	350	8
Força ou pressão	5, 8, 9, 10, 11, 13, 17	19	245	8
Vitalidade (saúde)	5, 8, 17, 20	8	140	6
Atração entre objetos	9, 12	2	105	2

Dessa forma, tornou-se possível calcular um valor percentual relativo para cada categoria (coluna “*percentual*”), visto que, na elaboração do teste, as situações (figuras) não foram previamente escolhidas com base nessas categorias. Na coluna (C4) encontram-se as associações feitas pelos alunos às categorias propostas. Por exemplo, se um aluno assinalou a figura 4, entendemos que ele estaria associando energia com as categorias “calor”, “eletricidade” e “luz”. Assim, contamos uma associação para cada uma dessas categorias.

O resultado apresentado na tabela 1 pode ser corroborado pela tabela 2. Através desta segunda tabela podemos verificar que as categorias “movimento” e “eletricidade” são as que mais se destacam com 33% e 30%, respectivamente. Cruzando-se os dados das duas tabelas e analisando cada figura, torna-se fácil verificar a correspondência das interpretações. Das situações mais assinaladas citadas acima (tabela 1), podemos ver, embutidas nelas, as categorias citadas: para a categoria “movimento” nós podemos associar, da tabela 1, as seguintes situações: futebol e menino na bicicleta (89%); carro em movimento (86%); e foguete espacial (69%). Para a categoria “eletricidade”, podemos associar as seguintes situações: lâmpada acesa (94%); som produzido por alto-falantes (89%); conjunto lâmpada-pilha (83%); transmissão via satélite e pilha elétrica (71%).

Em ordem crescente, vamos encontrar na tabela 2, depois de “movimento” e “eletricidade”, as categorias “atividade física” (23%), “alimento” e “luz” (15%), “combustível” (14%), “vida” (13%) e “som” (11%).

Se olharmos para esse resultado, veremos que os alunos entendem cada situação de maneira distinta das outras, porque conceitualizam cada uma delas de maneira particular, daí uma pulverização em várias categorias. Por outro lado, ao associarmos as duas tabelas como fizemos no parágrafo anterior, veremos que, tanto na tabela 1 quanto na tabela 2 as situações que atingiram maiores frequências foram aquelas que correspondem a situações relacionadas à vida diária (movimento, eletricidade e atividade física). Justificativas oferecidas pelos alunos, tais como “potássio é energia”, “nutrição”, “combustão”, “a planta precisa de energia para crescer”, “armazenagem de energia elétrica” ou “a pilha transmite energia para a lâmpada acender”, parecem estar diretamente ligada a conhecimento fenomenológico e factual, adquirido na experiência e sempre presente nos meios de comunicação e que, portanto, constituem um tipo importante de representação simbólica disponível para a conceitualização. Dessa forma, os modelos iniciais dos estudantes estariam apoiados principalmente em representações simbólicas resgatadas de alguma maneira pelas situações, em detrimento do terceiro elemento do tripleto (invariantes operatórios). Não estamos dizendo que os estudantes não utilizam invariantes operatórios para enfrentar a situação (segundo Vergnaud, não haveria conceitualização sem esse elemento do tripleto), mas, não há nas respostas, ou são raríssimas, tentativas de explicação, o que para nós seria indícios do uso de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação (invariantes operatórios).

A tabela 3 sinaliza a terminologia espontaneamente utilizada por eles para se referirem às situações do pré-teste. Essa terminologia é provavelmente originária de suas vivências, seu conhecimento factual, dos anos de escolarização já vividos e do seu ambiente de trabalho. De

acordo com a perspectiva de modelamento adotada na pesquisa, apoiada pelo modelo de Hestenes (1996), nós esperamos uma significativa evolução dessa terminologia. Quanto a esse aspecto, Ioannidis e Spiliotopoulou (1999) já haviam proposto uma ampliação de termos que poderiam ser aceitos, no âmbito da ciência escolar, como pedagogicamente corretos.

TABELA 3 - TERMINOLOGIA MAIS FREQUENTE PARA DENOMINAR FORMAS DE ENERGIA		
TERMOS	OCORRÊNCIAS	PERCENTUAL ³
Energia elétrica	21	19
Energia humana (ou “física”, “corporal”, “do corpo”, “muscular”)	17	15
Energia solar (ou “do sol”)	17	15
Energia do movimento (ou “da velocidade”)	11	10
Energia da bateria	9	8
Energia molecular	9	8
Energia dos alimentos (ou “nutritiva”, “alimentar”, “comestível”)	8	7
Energia nuclear (ou “radiação”)	8	7
Energia inflamável (ou “do combustível”, “do petróleo”)	5	4
Outros termos ⁴	7	6
TOTAIS	112	100

O resultado dessa análise indica dois aspectos importantes da pesquisa. O primeiro diz respeito à dificuldade dos alunos quando o conceito é instanciado, confirmada através dos inúmeros termos que utilizam para descrever as situações propostas (tabela 3), o que também aponta para a existência de um núcleo ontológico aberto relacionado ao conceito, o que pode explicar a dificuldade dos alunos em produzir raciocínios e explicações consistentes ao longo da atividade (tabela2).

A esses dois fatores dificultadores, soma-se ainda a própria natureza do teste que requeria explicações escritas. Mas, há também uma clara percepção de que os alunos respondem ao teste, relacionando as situações propostas a diferentes conceitos (equivocados ou não), mesmo que lhes tenha sido explicitado que considerassem seu conhecimento sobre energia como a base de fundamentação de suas respostas. Como vimos na apresentação dos dados, o resultado é uma reflete uma fragmentação do conhecimento dos alunos sobre o conceito, com pouca vinculação ao significado de energia do ponto de vista da ciência escolar. Isso é natural para indivíduos que ainda têm pouca familiaridade com a maneira que os especialistas utilizam o conceito.

Aluna Ana Lúcia

A aluna Ana Lúcia teve participação bastante intensa em todas as etapas da pesquisa. Ela assinalou 18 das 21 opções do pré-teste, ainda que as justificativas dadas para algumas

³ O percentual foi calculado em função do número total de termos encontrados no pré-teste, ou seja, 112 termos.

⁴ Termos como “elasticidade”, “funcionamento de coisas”, “energia criminosa”, “fé”, “espacial”, “energia do satélite”, que tiveram uma ou duas ocorrências foram agrupados aqui.

delas não tenham correspondência científica (e nem era esperado que assim fosse). Ela não reconhece o envolvimento ou a presença de energia apenas nas situações [9] – massa pendurada a uma mola, [11] – engrenagens em movimento e [14] – estatueta. Suas justificativas examinam sempre a situação apresentada na busca de relações com objetos ou condições da sua vizinhança. Algumas respostas são baseadas em atributos ou estados óbvios naquela situação, bem como baseadas em conhecimento prévio. As situações [09] e [14] são situações relacionadas a formas de energia atípicas no cotidiano escolar ou nos meios de comunicação, e por esse motivo, não foram assinaladas.:

[QI-01] (Som de alto-falantes): “Porque causa uma interferência ao ouvi-la”.

[QI-02] (Antena parabólica): “Depende da energia para passar a transmissão”.

[QI-06] (Usina nuclear): “Porque é diretamente ligado à energia”.

[QI-10] (Foguete): “Utiliza a energia para chegar ao seu destino”.

[QI-12] (Sistema Terra-Lua): “É concluído através da energia”.

Nós veremos que a aluna usa muitas vezes o termo “interferência” quando vai dar alguma explicação. No nosso entender, em muitas delas ele é sinônimo de interação (agir sobre) relacionada a alguma mudança de estado:

[1ENT:01-06]: (01) JP – Quando a gente fala em energia, qual a primeira idéia que surge associada à palavra energia?

(06) Ana Lúcia – “Tudo aquilo que pode interferir em algo é energia. Tudo que faz algo se mover é energia. Energia elétrica para ligar uma lâmpada. Ou então uma força que você esteja fazendo. Por exemplo, você pega um pedaço de fita, vai fazendo força até ela se arrebentar. Interferiu nela”.

Podemos ver que a aluna confunde conceitos. Embora saibamos que o conceito de força esteja relacionado à energia quando falamos em transformação e transferência de energia como trabalho, ela apenas utiliza o conceito que lhe é mais próximo para tentar enfrentar a situação, não importa se o esquema conceitual (ou os invariantes operatórios) relacionado ao conceito de força está correto, mas a situação enfrentada pela aluna faz emergir os esquemas que lhe pareçam mais apropriados. Esse aspecto é previsto na teoria dos campos conceituais de Vergnaud.

O conceito de força parece fortemente ligado à causalidade restrita de primeira ordem, pois tal conceito explica causalmente os eventos apontando sempre agentes e receptores (identificando causa e efeito). Além dessa estrutura causal, podemos verificar através dos três instrumentos de coleta de dados (pré-teste, debate e entrevista) que a aluna também utiliza a causalidade restrita de segunda ordem:

[QI-05] (Jogador chutando a bola): “O corpo possui energia e a utiliza para se movimentar”.

[QI-08] (Homem andando de bicicleta): “Para movimentá-la o homem utiliza a energia do corpo”.

[QI-17] (Arco tensionado): “Se mantém esticada pela força humana que contém energia”.

[1DEB: (19)]: 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”.

[1ENT: 26]: Ana Lúcia – Tudo precisa de algo que lhe dê energia. Tudo passa energia para outro, assim sucessivamente.

[1DEB: (59)] – É o nosso organismo que pega essa proteína e separa e o nosso próprio organismo é que produz essa energia. Eu acho que não é o alimento que tem energia... Eu acho que é o nosso corpo, que utilizando essas coisas, que produz a energia.

Também está presente nos seus depoimentos a causalidade auto-suficiente:

[QI-04] (*Lâmpada acesa*): “*Depende da energia para estar acesa*”.

[QI-16] (*Esfera parada sobre a mesa*): “*Porque há uma energia que a mantém parada*”.

Ela expressa de forma bastante clara a noção de que a energia é resultado de interação entre objetos ou entre partes isoladas (separadas por ela, para seu próprio esclarecimento) de um evento observado, e expressa a idéia de processos contínuos. Para que se possa considerar que a chama é uma situação que envolve energia se faz necessário que haja uma forma de transferi-la. Nesse caso, o “elemento de transferência” que ela menciona poderia ser um fósforo ou um isqueiro, que contendo energia, leva essa energia para a chama, portanto, a energia é algo que pode ser transferido:

[QI-07] (*Uma chama*): “*É acesa geralmente por um elemento que contém energia*”.

As passagens [QI:05-08-17] citadas acima são exemplos de que Ana Lúcia, no plano ontológico, trata energia como algo real, mas não necessariamente concreto (ou material); que pode ser (ou estar) contido; produzido de maneiras diferentes (pelo organismo ou pelo movimento); transferido, transmitido ou armazenado. Além daquelas também as seguintes passagens são exemplos desse caráter ontológico:

[QI-21] (*Pilha*): “*É carregada de energia*”.

[QI-13] (*Carro em movimento*): “*É movido devido à energia do combustível*”.

Inicialmente, ela trata a energia como a causa do movimento (raciocínio do tipo causal auto-suficiente) e não uma associação simples do tipo “movimento é energia”. Além disso, ela expressa a compreensão de que o movimento também pode provocar energia. Durante o debate com toda a turma, após o pré-teste, um estudante (Pedro) retoma a discussão sobre a chama associada a combustíveis:

[IDEB: (51-52)]: (51) Pedro – *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...*

(52) Ana Lúcia – *Eu concordo que não é só com objetos inflamáveis... Tem um movimento que gera a energia para acender.*

As respostas da aluna revelam uma concepção que envolve interação entre objetos associada a processos de mudança de um dado estado de coisas. Para todos os eventos que respondeu, ela procurou observar aspectos de mudança na situação. Ela usa de forma recorrente o termo “interferir” como constatação ou necessidade da presença de energia:

[IENT: 19-24] (19) JP – *Então, quando aparece a chama, eu não posso associar alguma energia para a chama?*

(22) Ana Lúcia – *Na minha opinião o fogo é todo energia. O exemplo do trem movido a vapor, que a chama... Tudo que altera alguma coisa é energia.*

(23) JP – *Mas, o que está alterando, quando aparece uma chama? Temos aqui um bico de gás [eu aponto para a bancada onde se encontra um bico de Bunsen]. Nós podemos acionar aqui e acender; vai aparecer uma chama. Tá modificando...*

(24) Ana Lúcia – *Houve a combustão... Pra mim a energia é aquilo que pode fazer algo se mover. O fogo... Pode movimentar o balão. O fogo queima o papel... É fogo... Pra queimar ele tem uma fonte de energia pra queimar.*

Além desse aspecto, há um outro aspecto importante para corroborar essa característica de processos que permeiam suas explicações. Ela fala explicitamente em seqüência temporal de eventos:

[IENT: 26]: Ana Lúcia – *Tudo precisa de algo que lhe dê energia. Tudo passa energia para outro, assim sucessivamente.*

No plano causal, revela raciocinar em termos de causalidade restrita de segunda ordem ou de causalidade auto-suficiente. A passagem a seguir, discutindo sobre a situação da figura

16 do pré-teste (uma esfera parada sobre a mesa), mostra que, mesmo confundindo conceitos (ela usa uma idéia de força, expressando-a como se fosse energia), sua concepção aponta para uma representação mais abstrata daquilo que, para ela, seria energia. Embora o uso do termo aqui possa ser apenas factual e conveniente, pois o estudo é sobre energia, a associação com energia em vez de força revela a necessidade de explicar o equilíbrio da esfera com algo que possa atuar sobre ela sem ação direta. Nesse caso a energia se mostra com essa qualidade abstrata, o que não ocorre com a idéia de força.

[1DEB: (35)]: *Tem energia sim. Tem que ter alguma coisa, por ela ser redonda e a mesa ser plana* [nesse ponto, alguém fala: “gravidade”, mas sem interrompê-la], *tem que ter uma energia gravitacional para manter ela ali...* [nesse ponto ela foi interrompida por uma grande discussão].

Aluno Jorge Bruno

Esse aluno teve uma participação bastante intensa nas várias fases da pesquisa, procurando responder todas as questões que lhe foram dirigidas. Entretanto, nas respostas ao pré-teste, o estudante Jorge Bruno limita-se a relacionar as situações indicadas nas figuras a palavras ou expressões curtas, que não são suficientes para uma análise preliminar, mas nas etapas seguintes (debate em sala e na primeira entrevista) sua participação foi bem mais consistente em termos de argumentos. Suas respostas ao pré-teste foram as seguintes:

[QI-01] (Alto-falante): “Energia elétrica”.

[QI-03] (Petróleo): “Líquido inflamável (combustão)”.

[QI-04] (Lâmpada acesa): “Energia elétrica (combustão)”.

[QI-05] (Jogador chutando bola): “Energia humana”.

[QI-08] (Menino andando de bicicleta) “Engrenagem e propulsão humana”.

[QI-11] (Engrenagens em movimento): “Engrenagem”.

[QI-12] (Sistema Terra-Lua): “Energia solar”.

[QI-20] (Prato com alimento): “Nutrição”.

Esse tipo de resposta pode indicar apenas que o aluno, neste momento, não dispõe de invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) com os quais possa analisar as situações. Ele identifica cada situação com palavras que lhe permita identificar qualquer relação que lhe faça sentido ou que lhe pareça pertinente, sem se preocupar, de fato, em justificá-las através do conceito de energia. Na última opção ele indica que a energia seria algo que pudesse ser armazenado em uma pilha, o que certamente decorre de seu conhecimento cotidiano sobre pilhas e que ele confirma durante a primeira entrevista:

[1ENT:37] *Jorge Bruno – ... Na questão da pilha, existem componentes capazes de reter e armazenar energia que depois de algum tempo acabe e que pode reabastecer de energia. Bateria de celular e de automóvel pode recarregar de um dia pro outro. É só ligar na energia* [elétrica].

Com a análise do debate em sala de aula, fica mais claro que ele admite que a combustão seria uma das formas de manifestação da energia: na linha (1DEB, linha 07), sobre a lâmpada acesa (figura 04 do pré-teste), e a seguir, sobre a chama de uma lamparina (1DEB, linha 28). Concebe energia como passível de se manifestar em situações diferentes, nas quais ela receberia um nome específico, que ele admite não saber:

[1DEB: (07)]: *Jorge Bruno – A energia que faz com que a lâmpada funcione é uma espécie de uma combustão onde a energia elétrica tem dois pólos faz que ela funcione. Vem da energia elétrica o funcionamento da lâmpada.*

[1DEB: (26-28)]: (26) *Jorge Bruno – Há outras formas de energia... Não podemos definir energia por energia elétrica... O fogo tem uma energia que não é elétrica...*

(27) JP – *Mas, você teria um nome para essa energia?*

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

Seu depoimento confirma a ausência de conceitos-em-ação ou teoremas-em-ação, relacionados à energia, capazes de lhe darem condições de enfrentar a situação proposta na questão a ele dirigida. Conforme relatado na literatura sobre concepções espontâneas, nessa ausência, ele utiliza conceito de força e de pressão para construir uma explicação:

[1ENT: 01-07] (01) JP – *Quando a gente fala em energia, qual a primeira idéia que surge associada à palavra energia?*

(02) Jorge Bruno – *Energia elétrica. Propulsão humana.* [Nesse momento ele cita uma experiência, vista em um livro – provavelmente a experiência atribuída a Von Güericke dos dois hemisférios puxados por duas juntas de cavalos para evidenciar a pressão atmosférica]. *Penso em um monte de coisas, muitas formas de energia.*

(07) Jorge Bruno – *Quanto à forma de geração de energia entre um veículo pequeno e um veículo maior. Um carro e um caminhão de transporte. Eu acredito que a fonte geradora de energia, que no caso é o motor, faz com que a energia do caminhão seja maior. Ele tem um conjunto de peças que faz que ele gere mais energia para carregar mais peso. O carro não conseguiria puxar a carroceria do caminhão.*

Nessa última transcrição, a confusão entre os conceitos de força, pressão e energia, levamos a supor que energia para ele não é algo material, mas tem existência real, sendo necessária para que ocorram mudanças nos estados das coisas. Na passagem seguinte, dentro da mesma entrevista, veremos que essas mudanças podem ser associadas a uma concepção latente em termos de processo, associado a um raciocínio com base na causalidade restrita de segunda ordem. Pode-se ainda notar que, enquanto fala, ele parece tomar consciência de uma modificação na sua própria maneira de pensar:

[1ENT:19-25] (19) JP – *Então, quando aparece a chama, eu não posso associar alguma energia para a chama?*

(21) Jorge Bruno – *Eu acho que é uma fonte de energia gerada pelo choque de dois objetos. Eu darei o exemplo do isqueiro. É uma geração de energia. Você roda a polia que contata a pedra do isqueiro e cria uma energia. Não quer dizer que aquela energia tenha gás, mas é o choque dos dois objetos é que cria a energia.*

(25) Jorge Bruno – *Eu não sei se eu vou entrar em contradição em alguma coisa... A combustão, o simples fato de queimar. Motores a base de querosene, gasolina, álcool... A combustão gera energia para uma engrenagem girar e causar a energia pra funcionar o veículo. Assim também eu vejo o corpo humano. Um obeso, parado, gasta pouca energia. Quando uma pessoa corre, queima calorias. Acho que é uma forma de queimar. Um jogador, logo que pára de jogar, sai até fumaça. O alimento que ele come é o combustível que ele queima para ter energia.*

Ele parece estar considerando, implicitamente, uma centelha como a própria energia, quando obtida por atrito (ele não menciona isso). Além disso, ele utiliza conhecimentos ou conceitos, corretos ou não, diversos do assunto em questão, associando o fato de que para haver combustão deve haver a presença de oxigênio (veja também [1ENT:19-21], acima):

[1ENT: 37] Jorge Bruno – *Acho que o tipo de energia gerada pelo fogo daquele palito de fósforo acabou. Mas, existem outras energias que podem ajudar a criar a energia feita pelo fogo, que é o ar, por exemplo. No ar também... é energia e que em princípio para produção de energia é o ar. Na questão da pilha, existem componentes capazes de reter e armazenar energia que depois de algum tempo*

acabe e que pode reabastecer de energia. Bateria de celular e de automóvel pode recarregar de um dia pro outro. É só ligar na energia.

No plano ontológico, Jorge Bruno trata energia como algo real, seus depoimentos parecem indicar que a energia é uma entidade física que pode ser criada e armazenada, que se confunde com a idéia de força (embora seu uso não seja explícito). Um de seus depoimentos mostra que uma centelha para ele é a própria energia, como visto acima (1ENT:21). Isso dá a energia também um caráter, além de real, também material. O fato de termos entendido anteriormente que para ele a energia era algo imaterial mostra que cada situação analisada por ele resulta numa conceitualização diversa. Por outro lado, ele já é capaz de perceber energia envolvida em processos de mudança ou que processos de mudança podem ser interpretados com a ajuda do conceito de energia.

Apresenta evidências de utilizar modelos mentais com estrutura na causalidade restrita de segunda ordem...

[ENT:07]: “... faz com que a energia do caminhão seja maior. Ele tem um conjunto de peças que faz que ele gere mais energia para carregar mais peso. O carro não conseguiria puxar a carroceria do caminhão”.

[1ENT:25]: “... A combustão gera energia para uma engrenagem girar e causar a energia pra funcionar o veículo”.

... que estão mais presentes do que a causalidade auto-suficiente:

[1DEB:07]: “A energia que faz com que a lâmpada funcione é uma espécie de uma combustão onde a energia elétrica tem dois pólos faz que ela funcione. Vem da energia elétrica o funcionamento da lâmpada”.

O aluno, mesmo dentro da primeira etapa do trabalho, já apresenta evidências, mesmo que tímidas, de evolução nos seus modelos mentais.

Modelos iniciais dos alunos

Ana Lúcia

A análise do material, nessa fase do estudo, revela uma aparente confusão entre força e energia, o que permanece nas fases seguintes. Embora isso tenha sido um aspecto dificultador, podemos inferir que Ana Lúcia observa eventos com uma idéia de processo já bem desenvolvida. Quanto à terminologia, é naturalmente pobre (energia do corpo, energia da pilha, energia molecular), porém, é possível perceber que isso não impede que ela assinale e justifique dezoito das vinte e uma situações do pré-teste.

Já nessa fase, é capaz de perceber que algumas mudanças observadas nos eventos podem ser associadas à energia. Suas justificativas para algumas das situações assinaladas no pré-teste são baseadas em atributos óbvios que expressam uma estrutura causal auto-suficiente. Em outras situações, formula justificativas buscando identificar relações entre as partes que constituem o evento. O uso recorrente do termo “interferir” aponta para isso e pode caracterizar uma estrutura causal restrita de primeira ordem. Esse termo parece também associado a um caráter de necessidade da presença de energia. Mas a estrutura que acaba prevalecendo nessa fase é a causalidade restrita de segunda ordem.

Ontologicamente, energia é algo real e abstrato, pode estar contido, pode ser transferido, armazenado ou transmitido e está ligado à causa do movimento e não que movimento seria energia. Além disso, também é capaz de perceber que movimento pode provocar energia.

Jorge Bruno

Na primeira fase, Jorge Bruno usa terminologia completamente alheia ao conhecimento científico (“Engrenagem e propulsão humana”, “Combustão”, “Nutrição”, “Engrenagem”). Possui invariantes operatórios insuficientes para enfrentar situações novas com o conceito de energia. Suas justificativas às situações assinaladas no pré-teste são rótulos que relacionam aspectos diversificados com os quais ele identifica cada situação, e tais aspectos apenas traduzem algum conhecimento factual sobre ela.

Jorge Bruno confunde energia com força ou pressão; uma centelha elétrica em um fogão é entendida como a própria energia. Diferentemente de outros alunos não há qualquer evidência que Jorge Bruno associe energia a movimento.

No plano ontológico, o caráter material ou imaterial (concreto/abstrato) da energia depende da situação/problema enfrentada pelo aluno. Há situações em que esse caráter se apresenta como material e outras situações como imaterial, mas energia é algo que tem existência real, necessário para mudanças. Ao término da primeira fase, os modelos desenvolvidos ou expressos pelo aluno mantêm essa característica dual para a energia. Além disso, energia é algo que pode ser criado e armazenado. Parece que, nesse momento do curso, Jorge Bruno está começando a revisar seus modelos, passando a compreender a utilidade das “novas idéias” sobre energia para explicar mudanças no estado das situações. Isso aponta uma percepção dos eventos como processos dinâmicos (ainda que isso se dê de forma incipiente).

Referências bibliográficas

BLISS, Joan; OGBORN, Jon. Children’s choices of uses of energy. **European Journal of Science Education**, vol. 7, no. 2, pág. 195-203, 1985.

BORGES, A. Tarciso. Modelos mentais de eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, vol.15, no.1, pág.7-31, abr, 1998.

_____. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, vol.1, no.1, pág.85-125, 1999.

CHI, Michelene T. H.; SLOTTA, James D.; de LEEUW, Nicholas. From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. **Learning and Instruction**, vol. 4, pág. 27-43, Elsevier Science Ltd, 1994.

DRIVER, Rosalind et al. **Making sense of secondary science – Research into children’s ideas**. New York: Routledge, 1994.

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.

GILBERT, J. K. and POPE, M.: Small group discussions about conception in science: a case study, **Research in Science and Technological Education**, vol. 4, pág. 61-76, 1986.

GRECA, Ileana M.; MOREIRA, Marco A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes – uma proposta representa-cional integradora. **Investigação em ensino de Ciências**, vol. 7, no. 1, 2002. Disponível em <<http://www.if.ufrs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html>>. Consultado em 05/10/02.

HESTENES, David. Modelling Methodology for Physics Teachers. In: **International Conference on Undergraduate Physics Education (Atas)**, College Park, August 1996. Disponível em <<http://modeling.1a.asu.edu/modeling/ModMeth.html>>.

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, pág. 95-97, 1999.

KUHN, Thomas S. **The essential tension – Selected studies in scientific tradition and change**, cap. 2 e 4. The University of Chicago Press: Chicago. 1977.

MARIANI, M. C.; OGBORN, Jon. Towards an ontology of common-sense reasoning. **International Journal of Science Education**, vol. 13, no. 1, pág. 69-85, 1991.

MOREIRA, M. A. A teoria de campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nessa área. **Investigação em ensino de Ciências**, vol. 7, no. 1, 2002. Disponível em <http://www.if.ufrs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html>, consul-tado em 05/10/02.

WATTS, D. Michael. Some alternative views of energy. **Physics Education**, vol. 18, pág. 213-216, 1983.