

## O PAPEL DOS MODELOS NO ENTENDIMENTO DOS ALUNOS.

Gurgel, Ivã<sup>a</sup>

Pietrocola, Maurício<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Física - Faculdade de Educação - USP

<sup>b</sup> Faculdade de Educação - USP

### RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar a importância, em situações de ensino/aprendizagem, da mecanicidade dos modelos, no sentido definido pelo filósofo Mario Bunge, no processo de apropriação de explicações sobre os fenômenos térmicos. Para isso partimos de uma análise histórico-epistemológica sobre modelos e estudamos considerações de alunos do ensino médio através de questionários e entrevistas..

**Palavras-chave:** Modelos, Explicações, Mario Bunge.

### ABSTRACT

The object of this article is to show the importance, in teaching/learning situations, of the machine's models, in the sense defined by the philosopher Mario Bunge, on the process of appropriation of explication about the thermic phenomenons. For it we began on an analysis historic-epistemological about models and we studied consideration of the high-school's students through questionnaires and interviews.

**Keywords:** Models, Explications, Mario Bunge.

### INTRODUÇÃO

Resultados de pesquisas em ensino/aprendizagem apontam as dificuldades de convencer os estudantes a substituírem suas concepções por concepções científicas (Gil-Perez, 1999), pois o conhecimento científico ensinado concorre com outras formas de conhecimento (Pinheiro, 2003) e o aluno permanece muitas vezes com suas concepções prévias juntamente com as novas idéias aprendidas (Mortimer, 1994). Em determinadas circunstâncias no contexto escolar, situações de conflito ou estratégias semelhantes acabam gerando bons resultados de aprendizagem que, no entanto, não se mantêm fora da escola, pois aí parecem existir outros critérios para que o aluno utilize seus conhecimentos. Assim consideramos que é preciso avaliar quais características das explicações são bem aceitas e operacionalizadas pelos alunos, podendo fazer com que elas sobrevivam fora do contexto escolar. Assim esse trabalho busca responder à seguinte questão: Os modelos mecânicos trazem mais entendimento ao aluno?

### MODELOS E EXPLICAÇÕES.

A natureza das explicações é um tema bastante discutido no âmbito filosófico e não nos cabe aqui reconstruir toda essa discussão. Mas a explicação no sentido que nos interessa neste

trabalho se vincula com a necessidade do indivíduo entender determinado fenômeno. Sobre isso podemos, Carl Hempel afirma que os motivos que nos levam a buscar o entendimento dessa natureza podem ser resumidos em duas categorias básicas: um deles é de caráter prático, em que o homem pode aperfeiçoar sua forma de agir sobre o mundo; o segundo é de natureza “existencial”, em que o homem busca entendimento do mundo que o cerca e das relações que estabelece (Hempel, 1979). Com isso podemos perceber que uma explicação carrega em si duas “responsabilidades”. A primeira se refere, em última instância, à obtenção dos meios de vivência humana e a segunda de responder a questões de ordem existencial. Embora grande parte das análises filosóficas, sobretudo positivistas, privilegiem o primeiro dos objetivos dados a uma explicação, consideramos que o segundo elemento é de importância fundamental para o ensino, como apontam outras pesquisas (Custódio e Pietrocola, 2002; Pinheiro, 2003). O filósofo Mario Bunge ainda esclarece que existe uma dimensão psicológica associada às explicações, que envolve critérios individuais/subjetivos em sua construção e aceitação (Cupani e Pietrocola, 2002).

### MODELOS E MODELIZAÇÃO NA CONCEPÇÃO DE MARIO BUNGE.

Inicialmente um aspecto que merece destaque na obra de Bunge refere-se à sua proposição de que o principal objetivo da ciência é produzir explicações para os fatos reais, sendo que uma explicação se configura como a busca daquilo que se percebe (direta ou indiretamente) naquilo que se supõe existir (Cupani e Pietrocola, 2002). O primeiro passo para gerar modelos teóricos é a construção dos elementos que serão utilizados como o “mecanismo” do modelo. Bunge define tais elementos como objetos-modelo. Estes são estruturas conceituais hipotéticas, pertencentes a um sistema real, devendo ser vinculado a uma teoria geral que determinará o comportamento do objeto-modelo.

*“A conquista conceitual da realidade começa, o que parece paradoxal, por idealizações. Extraem-se os traços comuns de indivíduos ostensivamente diferentes, agrupando-os em espécies (classes de equivalência)” (Bunge, 1974).*

Os objetos-modelo são determinados através da especificação de características comuns, que elementos da realidade devem ter. As propriedades dos objetos-modelo devem permitir que este seja operacionalizado pela teoria geral, isto é, devem ser suscetíveis a isso. A teoria geral é uma estrutura lógica que deve ser aplicável a uma parcela do mundo. Mas ela é uma estrutura racional que não pode ser aplicada à realidade diretamente. Ela depende da construção dos elementos que possam ser racionalizados, os objetos-modelo. Quando temos uma teoria geral para tratar um objeto-modelo, ou um objeto para uma teoria, temos a construção de um modelo teórico de uma parcela da realidade.

Muitas vezes, o modelo teórico está baseado em uma representação da realidade parcial, que acaba sendo uma aproximação grosseira da mesma. Porém esta é a única forma de apreendermos a realidade racionalmente. Muitas vezes investimos em modelos que são matematicamente muito complexos e fisicamente muito simples. Ao menos, tem sido essa a maneira da ciência proceder na apreensão do mundo natural, segundo Bunge.

*“Quanto mais se exige fidelidade ao real, tanto mais será preciso complicar os modelos teóricos” (Bunge, 1974).*

O modelo teórico sendo uma estrutura hipotético-dedutiva permite fazer previsões. A dedução permite que racionalmente possamos determinar aspectos da realidade que não são conhecidos previamente. Bunge cria uma diferenciação sobre a natureza dos modelos e sua forma de representar a realidade. Isso será importante para determinarmos a natureza explicativa que o modelo-teórico deve ter.

Podemos construir muitos tipos de modelos-teóricos, mas podemos diferenciar dois tipos extremos. Começamos pelo modelo do tipo caixa preta. Este modelo relaciona eventos, sem se preocupar em estabelecer o mecanismo de relação entre eles. Ele co-relaciona apenas entrada e saída. O modelo mecânico tem uma estrutura que permite descrever a relação dos eventos, isto é, todo procedimento que relaciona uma ocorrência inicial com um resultado final é representado pelo mecanismo do modelo. O tipo de modelização de caixa preta é considerado por Bunge (1974) “demasiado simples”, mas permite relacionar entradas e saídas e descrever a forma global do sistema. Podemos com ele determinar causas aos fenômenos empíricos, sem, no entanto, explicar a natureza destas. Para Bunge, a existência e um mecanismo ao qual possa se estabelecer as causas é fundamental para que se entenda realmente o processo. A determinação dos mecanismos do modelo, e conseqüentemente, a criação da ontologia da explicação, isto é, sua vinculação à realidade, é um processo complicado. A maior parte dos mecanismos está “escondida” para além do observável e não temos fácil acesso experimental a ela. Temos que imaginar os mecanismos, através de hipóteses sobre seu funcionamento.

*“Uma hipótese acerca dos mecanismos escondidos só poderá ser considerada como confirmada se satisfazer às seguintes condições: explicar o funcionamento observado, prever fatos novos além dos previsíveis por modelos de caixa negra e concordar com a massa das leis conhecidas. Tais exigências reduzem o conjunto dos modelos de mecanismos e permitem submete-los a testes empíricos” (Bunge, 1974).*

A mecanicidade do modelo permite que abandonemos, provisoriamente, a realidade e nos relacionemos com o mundo através das explicações. O ser humano pode lidar com uma nova realidade, a dos modelos, que lhe permite entender as situações do mundo que o cerca e lhe permite tomar decisões.

### **CALOR COMO VIBRAÇÃO E CALOR COMO FLUÍDO: UM DEBATE**

A temática dos modelos na ciência pode ser melhor entendida quando acompanhamos historicamente o processo de entendimento de determinado domínio do mundo. Os modelos constituídos para lidar com os fenômenos térmicos são particularmente interessantes pelo confronto de idéias realizado em determinada época. Durante o século XVIII ocorreu um intenso debate sobre a natureza do calor, sendo propostos dois elementos explicativos, o calor como vibração e o calor como fluido.

Talvez a idéia de calor como vibração deva ser atribuída a Francis Bacon. Para ele, o calor se relaciona com a vibração de “átomos”. Na obra *Novum Organum* de 1620, Bacon volta a falar do calor como movimento deixando claro que o calor não produz ou gera movimento, mas o próprio calor ou algo do próprio calor é o movimento e nada mais (Silva, 1995).

Outros cientistas da época e posteriores a Bacon, como Kepler e Leibniz também eram a partidários da teoria do calor como vibração (Castro 1993). Robert Boyle fez em sua obra "Of the mechanical origin of heat and cold" importantes declarações que reforçara a teoria do calor como forma de movimento.

*“(...) Quando, por exemplo, um ferreiro martela vigorosamente um prego, ou um pedaço de ferro parecido, o metal golpeado ficará excessivamente quente, e não há nada que esteja produzindo este efeito, exceto o vigoroso movimento do martelo, que imprime uma impetuosa e variada agitação das pequenas partes do ferro; o qual sendo antes um corpo frio, pela intensa comoção de suas pequenas partes, torna-se em diversos sentidos quente; (...)” (Boyle apud Souza Filho, 1987; grifos nossos)*

Este fenômeno também pode ser explicado pela teoria do calórico. A teoria do calórico surgiu inicialmente como explicação para a mudança de temperatura dos corpos. Basicamente esta teoria consistia em afirmar que diferentes corpos teriam diferentes temperaturas por um acúmulo maior ou menor de calórico. Se um corpo estivesse muito quente ele teria uma grande quantidade de calórico acumulada, se estivesse frio, teria pouco calórico acumulado. O primeiro a dar este nome a este fluido do calor foi Lavoisier em 1789, mas esta idéia era defendida por outros cientistas como Boerhaave, Musschenbroeck e Black. O calórico seria um fluido imponderável que se transferiria dos corpos mais quentes para os corpos mais frios. Isto ocorreria devido à capacidade dos materiais atrair o calórico. Este fluido teria propriedades internas como a auto-repulsão e a elasticidade. Existiria um princípio de conservação do calórico, não sendo possível a sua criação ou destruição. Esta característica que a princípio permitia um grande poder de explicar os fenômenos de transferência de calor, é o que acabará por ser um dos principais argumentos contra a teoria. Wolff, um dos principais caloristas, dá a seguinte explicação para o aquecimento de um pedaço de metal malhado por um martelo.

*“O ferreiro faz saltar o calórico através dos poros do metal, tal como se tiraria água de uma esponja molhada que foi submetida ao nosso tratamento. Quando se fura o centro (alma) de um canhão com uma broca, os cavacos retirados por esta são quentes: é que os cavacos não podem reter o calórico que neles havia e então este escapa, provocando um aumento de temperatura” (Wolff apud Silva, 1995)*

Neste trecho de Wolff, também aparece a questão dos corpos terem diferentes capacidades para reter o calor. Mas o problema que ainda ficará por ser explicado é como apenas o calórico acumulado em cavacos, pode gerar grandes quantidades de calor.

Enquanto trabalhava na supervisão de perfurações de canhões, Benjamin Thompson, americano que mais tarde receberia o título de Conde Rumford, observou que o calor produzido nesse processo era muito grande. Para ele, esse fato era incompatível com a teoria do calórico. Segundo esta teoria, a produção de calor por fricção originou-se da liberação do fluido térmico, a partir da sua combinação química ou associação mecânica entre a matéria dos dois corpos atritados mutuamente; daí deverem ser proporcionais entre si a quantidade de calor e o número de fricções. Mas Rumford aponta que seria necessária uma brusca mudança na estrutura do material para se poder justificar a quantidade de calor produzida, algo que não se poderia ser evidenciada através dos experimentos. Com esses estudos Rumford verificou não serem procedentes as hipóteses dos caloristas de que estas lascas perdiam calórico, alterando assim sua capacidade para o calor. Ao medir o calor específico da lascas e do metal, constatou serem eles

iguais. Logo, o calor produzido pela fricção não podia ser atribuído a uma liberação de calórico pelas lascas.

### ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES HISTÓRICAS.

Nesta seção fazemos uma análise das explicações produzidas com base nos dois modelos. Como já vimos, cada explicação é gerada de acordo com determinado fenômeno ou problema apresentado, buscando gerar um entendimento sobre as relações determinantes para sua ocorrência. Como já visto neste trabalho, Bunge define três elementos para a construção de modelos explicativos. A teoria geral é a lei que deve reger o comportamento dos elementos utilizados para a explicação. O objeto-modelo é um elemento ou estrutura hipotética que é utilizado para a construção dos modelos. O modelo-teórico é a explicação do fenômeno em termos de teorias gerais e objetos-modelos que pode ser testada empiricamente. Através destes referenciais, buscamos traduzir os elementos da teoria do calórico e da teoria vibracional (que veremos não são teorias) desta forma:

	<b>Vibracional</b>	<b>Fluídos</b>
<b>Teoria Geral</b>	Mecânica das partículas	Mecânica dos Fluídos
<b>Objeto-Modelo</b>	Partículas materiais vibrando no interior dos corpos; temperatura associada à vibração	Calórico: fluido imponderável, presente no interior da matéria; auto-repulsivo; atraído pelas partículas materiais.

#### Fenômeno 1: Transferência do calor.

<b>Modelo Teórico Vibracional</b>	<b>Modelo Teórico do Calórico</b>
As partículas mais quentes, que tem maior vibração ou movimento, são transferidas dos corpos mais quentes para os corpos mais frios.	As partículas dos materiais atraem as partículas do calórico. A transferência de calor ocorrerá até que haja equilíbrio entre estas forças, ocorrendo o equilíbrio térmico.

O modelo do calórico pode ser considerado um modelo com maior “mecanicidade”, pois permite explicar a dinâmica interna do processo. O modelo vibracional não explica o fenômeno de transferência das vibrações das partículas de dois corpos que não estão em contato direto, ou corpos sólidos que não conseguem trocar partículas somente por contato.

#### Fenômeno 2 – Produção do Calor pelo Trabalho:

<b>Modelo Teórico Vibracional</b>	<b>Modelo Teórico do Calórico</b>
Quando atritamos ou golpeamos o material, estamos lhe fornecendo movimento e isto faz com que sua temperatura aumente.	Quando atritamos materiais ou o golpeamos, o calórico das regiões centrais é "exprimido" para a superfície que conseqüentemente esquenta.

Ambos modelos explicam o fenômeno com relativo sucesso, mas há uma diferença intrínseca. No caso do modelo calórico, há uma conservação da quantidade de calor (se

olhássemos para o centro do material este deveria estar frio). Para o modelo vibracional, não há esse problema, pois o calor é fornecido ao material. Assim o modelo vibracional tem maior sucesso em explicar o mecanismo que permite produzir calor indefinidamente.

### **METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS: AS IDÉIAS DOS ALUNOS.**

A história da ciência tem diversos usos nas pesquisas em ensino. Dentre eles, destaca-se a possível relação entre o desenvolvimento histórico e o desenvolvimento cognitivo dos aprendizes e as semelhanças apontadas entre as concepções dos alunos e as construções teóricas-conceituais já abandonadas pela ciência (Peduzzi, 2001). Considerando a validade destas hipóteses, optamos em utilizar o referencial histórico para realizar nosso estudo sobre as explicações. Nós optamos em duas formas de obtenção dos dados da pesquisa: questionários e entrevistas semi-estruturadas. Isso se deve à opção de termos mais de uma fonte de dados, que ao serem relacionados podem trazer uma maior validade (Carvalho, 2005). Esta metodologia também foi utilizada em outros estudos de mesma natureza (Pinheiro, 2003) mostrando-se eficaz.

#### **Os Questionários**

A partir dos nossos objetivos propostos anteriormente, elaboramos um questionário no qual o aluno pudesse indicar o índice de satisfação que ele atribui a uma explicação. Para isso, apresentamos os dois fenômenos analisados anteriormente e suas respectivas explicações (modelos explicativos) através do modelo do calórico e do modelo vibracional. Primeiramente pediu-se ao aluno indicar seu índice de satisfação em relação às explicações, através dos seguintes critérios: muito satisfatório, satisfatório, insatisfatório. Optamos em colocar como critério a satisfação do aluno por considerar esta uma categoria geral de aceitação do aluno, que não apela apenas ao corpo de conhecimentos já estabelecidos. Pedimos ao aluno que, após indicar seu índice de satisfação, ele justificasse sua escolha, para que pudéssemos fazer um primeiro levantamento dos critérios utilizados pelos alunos para validar as explicações.

O questionário foi apresentado a 34 alunos do terceiro ano do ensino médio. Todos de uma mesma turma, de uma escola pública da região central da cidade de Arujá-SP. Optamos em trabalhar com alunos do terceiro ano, pois consideramos importante que os alunos já tivessem passado por pelo menos parte de sua educação científica e principalmente já tivessem um pouco de conhecimento da área do conhecimento envolvido na pesquisa, neste caso a termodinâmica. Essa opção vincula-se ao nosso objetivo, o de saber os elementos que uma explicação têm para que o aluno a valide. Para isso consideramos que o fato do aluno ter uma mínima familiaridade com os fenômenos trabalhados ajudaria a explicitar seu índice de satisfação em relação à natureza da explicação. Caso contrário, acreditamos que o número de respostas inválidas para nosso estudo, isto é, respostas em que o aluno não se refere aos elementos analisados em nosso trabalho seriam maiores.

O primeiro levantamento feito com os resultados dos questionários verificou os índices de satisfação que os alunos atribuíram às explicações. Primeiramente apresentamos o valor da quantidade de respostas dadas em cada nível para as duas teorias propostas e em seguida analisaremos as principais justificativas, ou classes de justificativas que foram dadas em cada um tipo de resposta.

#### **Avaliações dos alunos:**

Fenômeno 1: Transmissão de calor dos corpos quentes para os corpos frios.

	Muito Satisfatório	Satisfatório	Insatisfatório
Calórico	2	27	5
Vibracional	13	19	3

Fenômeno 2: Relação de calor com o trabalho:

	Muito Satisfatório	Satisfatório	Insatisfatório
Calórico	6	16	12
Vibracional	17	10	7

Um segundo levantamento foi feito com as respostas dos alunos. Neste segundo momento comparamos as respostas dadas para uma das teorias, primeiramente verificando os índices de satisfação dados a cada uma delas e comparando estes valores fazendo com que estimemos a quantidade de ocorrências em que um modelo foi considerado mais satisfatório que o outro.

Fenômeno 1: Transmissão de calor dos corpos quentes para os corpos frios.

Calórico	Vibracional	Equivalentes
3	14	17

Fenômeno 2: Relação de calor com o trabalho:

Calórico	Vibracional	Equivalentes
10	19	5

Primeiramente devemos notar que o fato dos alunos já terem conhecimento do assunto foi de extrema importância. Notamos isso, pois o alto índice de resposta muito satisfatório em relação à teoria vibracional está relacionado à relação que os alunos fazem com seus conhecimentos aprendidos. No primeiro fenômeno apresentado, 10 dos 12 alunos (83%) que deram esse índice justificaram isso através de seus conhecimentos, relacionando a explicação dada através do modelo com seus conhecimentos sobre átomos e moléculas. Em relação ao segundo fenômeno isso acontece, mas a ocorrência é menor. Apenas 8 dos 17 alunos (47%) que indicaram a explicação como muito satisfatório justificaram isso através de seus conhecimentos prévios. A relação com os conhecimentos prévios também foi demonstrada na hora de invalidar uma explicação. Nos momentos em que o modelo do calórico era considerado insatisfatório, justificava-se isso através destes conhecimentos. Isso ocorreu nas 5 indicações insatisfatórias dadas ao calórico no primeiro fenômeno, mas em apenas 2 das 12 (17%) vezes que o calórico foi considerado insatisfatório no segundo fenômeno. Nos momentos em que o modelo vibracional era considerado insatisfatório, ocorria algo semelhante. As 3 demonstrações de insatisfação no primeiro fenômeno foram justificadas por considerarem o modelo incompatível com seus conhecimentos, mas em apenas 2 das 7 (29%) vezes que o modelo foi considerado insatisfatório no segundo fenômeno, isso ocorreu. Temos que os conhecimentos aprendidos anteriormente foram de importância predominante em 30 das 136 (22%) justificativas dos alunos.

Um critério importante apresentado pelos alunos foi a adequação da explicação ao fenômeno apresentado. Esse critério foi utilizado no primeiro fenômeno para validar 1 das 2

(50%) vezes em que o modelo do calórico foi considerado como muito satisfatório e foi utilizado 19 das 27 (70%) vezes para validar o modelo com o índice satisfatório. Em relação ao modelo vibracional, esse critério foi utilizado 1 das 7 (14%) vezes para validar o modelo como muito satisfatório, e 13 das 19 (68%) vezes para validar o modelo como satisfatório. No segundo fenômeno esse critério foi utilizado 4 das 6 (67%) vezes para validar o modelo do calórico como muito satisfatório e 10 das 16 (63%) vezes como satisfatório. Para o modelo vibracional, tivemos 7 das 17 (41%) ocorrências de muito satisfatório justificada pela adequação da explicação e, como esse mesmo critério, tivemos mais 6 das 10 (60%) ocorrências do índice satisfatório. Temos que a adequação da explicação ao fenômeno foi utilizada como critério em 61 das 136 justificativas (45%).

Quando comparamos as respostas dadas pelos alunos para os dois modelos percebemos em relação ao primeiro fenômeno que sempre que uma é considerada mais satisfatória que a outra, grande parte das justificativas apenas se relaciona com a adequação aos seus conhecimentos prévios. Em 2 das 3 (67%) ocorrências que tivemos a um índice de satisfação maior para a teoria do calórico, isso deve-se pelo fato do aluno considerar que a explicação vibracional dada era incompatível com seus conhecimentos. Das 14 ocorrências que tinham como mais satisfatória a teoria vibracional, 12 (86%) justificavam isso pelo a adequação do modelo aos seus conhecimentos. Podemos ainda observar que dessas 12 justificativas, 7 consideravam a modelo do calórico como explicação para o fenômeno apresentado.

Fazendo o mesmo tipo de análise em relação ao segundo fenômeno, temos que das 10 vezes que o calórico é considerado mais satisfatório, em 2 (20%) ocorrências isso se deve à inadequação dos modelos vibracional aos conhecimentos do aluno, e em 3 (30%) ocorrências temos como justificativa a adequação ao fenômeno. É importante observar que 5 (50%) das 10 respostas foram consideradas inválidas, por conterem respostas sem vínculo como questionário proposto. Temos que em 9 das 17 (53%) vezes que o modelo vibracional foi considerado mais satisfatório isso se deve à adequação da explicação aos seus conhecimentos. Tivemos 2 pessoas que utilizaram como critério a adequação da explicação ao fenômeno. Do total de 19 vezes que o modelo vibracional foi considerado melhor, 5 respostas foram consideradas inadequadas à atividade proposta (26%).

Quando os modelos são considerados equivalentes, em relação ao primeiro fenômeno, temos que 13 das 17 (76%) vezes que isso ocorreu os alunos utilizaram o mesmo critério para validar as duas da mesma forma, a adequação da explicação ao fenômeno. Em relação ao segundo fenômeno, isso ocorre em 4 das 5 (80%) vezes que são considerados equivalentes.

### **As Entrevistas.**

A opção de completar a investigação por meio de entrevista semi-estruturada foi considerada importante em nossa pesquisa para que pudéssemos explicitar a relação dos alunos com as explicações apresentadas no questionário. Na entrevista buscamos levantar dois tipos de situações em que o aluno tivesse que demonstrar suas opiniões sobre os modelos teóricos formulados com base na teoria do calórico e na teoria vibracional. Primeiramente, pede-se ao aluno para imaginar a época e avaliar a validade das explicações nesta. Questionamos qual modelo explicativo ele consideraria melhor no século XVIII (período histórico que o trabalho se baseia) e qual modelo explicativo ele considera melhor atualmente. Em um segundo momento, propõe-se ao aluno uma situação qualquer em que ele precisasse explicar um fenômeno



semelhante ao fenômeno apresentado no questionário e pede-se para ele avaliar com qual teoria ele teria maior facilidade em elaborar uma explicação para o fenômeno.

A entrevista foi realizada com três alunos que haviam respondido o questionário. A escolha foi aleatória e apenas atentamos em escolher alunos que não tiveram respostas semelhantes nos questionários, para que as entrevistas, por serem um número restrito, não representassem um público excessivamente pequeno. Nas entrevistas, como expresso anteriormente, buscamos sempre algumas situações que seriam importantes em nossa análise. Nas três entrevistas feitas, conseguimos seguir a mesma sequência de idéias, tendo sempre as mesmas situações em que o aluno expressava suas opiniões. Apresentaremos abaixo as manifestações dos alunos nos dois momentos referidos.

1. Momento em que uma situação imaginária em que o aluno tivesse que se "transportar" para o século XVIII e perguntava-se a ele qual teoria ele acha que ele consideraria melhor, sem ter os conhecimentos de hoje. Após isso, questiona-se sua posição hoje.

Aluno1: Acredita que aceitaria melhor o modelo do calórico: *"Na época, se eu estivesse na época, eu acho que eu teria que aceitar, eu ficaria com eles"*. Ele também considera que hoje as duas conseguiriam explicar, apesar de saber que a explicação válida é a vibracional.

Aluno 2: Considera que na época seria mais fácil aceitar o modelo do calórico por ser mais simples: *"A vibracional é uma teoria mais complicada, a teoria do calórico é uma teoria mais simples de se entender. Acho que naquela época eu teria escolhido a do calórico"*. No entanto, com seus conhecimentos atuais é um adepto do modelo vibracional.

Aluno 3: Considera o modelo vibracional melhor: *"É porque se fosse um fluido e gente teria que ver, ou alguma coisa assim, a vibracional como a nível menor, talvez eu ia aceitar com mais facilidade(...). É por que é a que mais convence"*. E claramente ele continua hoje adepto a este modelo.

2 - No segundo momento apresentamos dois fenômenos semelhantes aos tratados nos questionários e pedia-se ao aluno que ele avaliasse com qual modelo ele conseguiria explicar melhor aquilo para uma pessoa.

Fenômeno 1 - Pesquisador: *"Você já deve ter reparado que quando alguém coloca a panela no fogo, apesar de fornecer calor apenas embaixo, no fundo da panela, toda ela fica quente, inclusive a tampa na parte superior. Com qual teoria você acha que explicaria isso com mais facilidade para alguém que lhe perguntasse."*

Aluno 1: *"Acho que com a do calórico (...) se tem uma água fria e uma água quente assim, você mistura as duas ela não vai nem esfriar, nem ficar na temperatura que estava quente, as duas vão tipo, uma vai pegar o calor da outra e vai ficar morna né"*

Aluno 2: *"Eu acho que ficaria mais fácil de eu explicar para ela [pessoa hipotética] do modo do calórico, porque a panela, ela é um modo de transmissão de calor né, passa de um*

objeto para outro, mais ou menos né, então a panela aquece o calor vai da panela para a água assim, e vai embaixo e vai transmitindo o calor até em cima, é mais ou menos assim"

Aluno 3: Considera que explica melhor com o modelo do calórico: "É eu acho que assim eu falaria, que passou para a panela e esse fluído se espalhou pela panela. Concentra ali onde está a chama, mas depois ele se espalha pela panela, eu poderia falar assim né, como ele tá concentrado ele se espalha para a outra área da panela."

Fenômeno 2 - Pesquisador: *"Quando a gente atrita dois corpos eles esquentam. Você já deve ter reparado isso quando você esfrega as suas mãos uma na outra. Com qual teoria você acha que explicaria isso com mais facilidade para alguém que lhe perguntasse."*

Aluno 1: Explicaria com movimento sem se referir a fluído "Eu coloquei que quando eles faziam fogo como pauzinho, lá assim (demonstrando o movimento com as mãos), movimentando aí produzia calor aí pegava fogo né, nas folhas assim."

Aluno 2: "Você esfrega uma mão na outra, complicado né, deixa eu ver, uma mão na outra [pensando] quando você está esfregando a mão o que está acontecendo tem..., hoje você sabe que as moléculas da mão começam a esfregar, elas começam a aquecer e elas começam a se movimentar mais. Você esfrega então você sai com moléculas que estão se agitando mais, então a pele aqui em cima fica mais quente."

Aluno 3: "Eu acho que a vibracional também, como você falou o movimento, você fala esfregando a mão assim, usando essa teoria vibracional, eu acho que explica melhor(..) Não que você esfregando as mãos, você está movimentando e você passa esse movimento para suas moléculas, e aí esquentam, acaba agitando, esquentam, ou então, atrito não vem tanto ao caso, mas poderia falar que está transformando em energia térmica, essa energia do movimento."

No primeiro momento percebemos que primeiramente o modelo do calórico é escolhido por apresentar uma simplicidade, na visão do aluno. No segundo momento, aparece claro a relevância do conhecimento aprendido. Os alunos apresentam como critério de aceitação a relação do modelo com seus conhecimentos atuais.

Na segunda parte da entrevista, que é o mais importante para nós, verificamos que em relação à primeira situação apresentada o aluno ao precisar se apropriar de um conhecimento, neste caso de um modelo, podendo não apenas compreendê-lo, mas também operacionalizá-lo, ele opta pelo modelo do calórico, que para ele é mais facilmente trabalhado cognitivamente. Em relação à segunda situação isso muda. O aluno neste momento prefere operar com o modelo vibracional para explicar o fenômeno.

Apesar de em cada momento os alunos escolherem modelos diferentes, o importante é notar que seu critério para a escolha passa a ser a possibilidade de operacionalização do modelo, isto é, a mecanicidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Durante nosso estudo buscamos identificar os critérios utilizados pelos alunos na aceitação das explicações científicas. Através da análise dos questionários pudemos perceber primeiramente que o principal critério utilizado por eles é a adequação da explicação apresentada com os seus conhecimentos. Essa conclusão vincula-se com o dado que mostra que em 86% das vezes que o modelo vibracional foi preferido pelos alunos como explicação *muito satisfatória* para o primeiro fenômeno, este era preferido devido aos alunos o julgarem mais adequado aos seus conhecimentos. A plausibilidade da explicação é reconhecida por eles. É interessante notar que em muitos casos o modelo do calórico é considerado como explicação válida, visto que esta se adequa ao fenômeno. Percebemos que apesar deste critério ser o considerado o mais importante, ele nem sempre é facilmente utilizado pelos alunos. Notamos que muitas vezes ele é utilizado de forma contrária, isto é, alguns alunos consideram que a explicação é coerente com seus conhecimentos, enquanto outros consideram o contrário. Notamos isso nos momentos em que os alunos utilizam seu conhecimento para invalidar o modelo vibracional. Outro fator que demonstra a dificuldade do aluno avaliar a adequação da explicação está no fato desse critério, apesar de ser o de maior relevância, ser utilizado em apenas 22% do total das justificativas.

Com relação a isso, devemos ainda notar que outro critério extremamente importante para os alunos é a adequação da explicação ao fenômeno. Percebemos que esse é o segundo critério, em importância, para os alunos e que eles têm uma maior facilidade de utilizá-lo. Eles trabalham com esse critério em 45% das justificativas, o dobro de vezes que o primeiro é utilizado.

Quando comparamos o primeiro fenômeno com o segundo, notamos que o segundo envolve uma maior complexidade. Podemos perceber isso de duas formas: uma pela análise epistemológica feita, outra através do grande número de respostas confusas que os alunos deram. Notando isso, devemos aliar a esses dados a queda do uso do critério de adequação das explicações aos seus conhecimentos, no segundo fenômeno. Percebemos que esse critério foi utilizado em 83% das respostas *muito satisfatório* do modelo vibracional no primeiro fenômeno. Esse número cai para 47% nas respostas dadas ao segundo. A complexidade do fenômeno e conseqüentemente da explicação faz com que os alunos utilizem menos o critério de adequação da explicação ao seu conhecimento ou acabem utilizando esse critério de maneira incorreta. Em relação ao segundo fenômeno, sempre que o aluno buscava dar um índice de satisfação maior a um dos modelos, ele acabava caindo em justificativas inadequadas ou contraditórias. O que não acontece com os alunos que as consideram equivalentes e utilizam a adequação superficial da explicação aos fatos para validá-las. Justamente uma tentativa de utilizar um critério não superficial, mais adequado, fez com que os alunos caíssem em contradições. A complexidade faz com que eles deixem de considerar as duas explicações adequadas e equivalentes, mas isso se reflete na dificuldade de dar suas respostas.

Os dados das entrevistas são importantes para analisarmos as situações de maior conflito. Quando colocamos o aluno perante um problema, em que é necessário que ele elabore uma explicação, percebemos que o aluno deixa de considerar a adequação da explicação aos seus conhecimentos prévios, que é mais complicado para ele, e passa a tentar ajustar o modelo que é mais facilmente operacionalizável para ele naquela situação específica.

Notamos que, ao analisar os fenômenos apresentados aos alunos, no primeiro fenômeno que eles precisaram gerar uma explicação, todos eles utilizaram o modelo do calórico para explicá-lo. Sabemos através da análise epistemológica, que para aquele problema, a explicação em termos do modelo do calórico tem uma maior mecanicidade que o modelo vibracional. A mecanicidade do modelo, de acordo com Bunge, está relacionada com o entendimento que o

modelo dá. Vemos esta hipótese refletida em nosso trabalho, quando relacionamos a mecanicidade do modelo com a capacidade do aluno operar sobre ele tendo o entendimento necessário para que ele elabore uma explicação. Também devemos notar que neste caso, se adequa ao fenômeno tanto o modelo do calórico quanto ao modelo vibracional, sendo que muitos consideram que ambos explicam. No segundo fenômeno, os alunos optam em utilizar o modelo vibracional. Como vimos esta opção não pode ser vinculada, simplesmente, com o fato do modelo estar de acordo com a teoria aprendida na escola, pois justamente nesse tipo de situação que os alunos tiveram maior dificuldade de relacionar a explicação dada com seus conhecimentos. A opção de explicar este fenômeno com o modelo vibracional tem como motivação a maior mecanicidade do modelo, que faz com que o aluno prefira operar com ele quando precisa elaborar uma explicação.

No início deste trabalho apontamos que Mario Bunge chama a atenção para a importância da mecanicidade de um modelo como elemento importante na apreensão da realidade pelo sujeito e para a construção do entendimento desta. Vimos que este mesmo elemento aparece como fundamental na aceitação e apropriação das explicações pelos alunos. Assim consideramos que devemos estar atentos ao papel dos “mecanismos” de uma explicação, pois estes podem ser determinantes em um processo de ensino/aprendizagem que procure levar os alunos a uma mudança de postura em relação à realidade que lhe é apresentada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- BUNGE, M. **Racionalidad y realismo**. Madrid: Alianza editorial, 1985.
- CASTRO, R. S. **História e Epistemologia da Ciência**. São Paulo: FEUSP, 1993
- CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. 2002. **A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências**. In: Cadernos Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, vol 19, n.1, edição especial, 2002.
- CUSTÓDIO, J. F. e PIETROCOLA, M. 2002, ‘**Princípios de conservação e construção de modelos por estudantes do ensino médio**’, VIII EPEF águas de Lindóia, SBF, 2002.
- HEMPEL, C. G. **Explicação científica**. In: Filosofia da ciência. MORGENBESSER, S. (org). São Paulo: Cultrix, 1979.
- MORTIMER, E. **Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis conceituais**. Tese de doutorado FEUSP. São Paulo, 1994.
- PEDUZZI O.Q. **Sobre a utilização didática da história da ciência**. In: PIETROCOLA, M.(org). Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- PIETROCOLA, M. **A história e a epistemologia no ensino das ciências: dos processos aos modelos de realidade na educação científica**. In: A ciência em perspectiva. MAST: SBHC 2003.
- PIETROCOLA, M. **Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino através dos modelos**. In: Investigação em Ensino de Ciências, vol 4., n 3. Porto Alegre, 1999.
- PINHEIRO, T. **Sentimento de realidade, afetividade e cognição no ensino de ciências**. Florianópolis: Tese de Doutorado UFSC, 2003

**SILVA, D. Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura.** São Paulo: FEUSP, 1995.

**SOUZA FILHO, O. M. Evolução da idéia de conservação da energia – um exemplo de história da ciência no ensino de física.** São Paulo: IFUSP-FEUSP, 1987.