

MODELOS E REALIDADE:

UM ESTUDO SOBRE AS EXPLICAÇÕES ACERCA DO CALOR NO SÉCULO XVIII

Ivã Gurgel^a.

Maurício Pietrocola^b.

^a USP - Instituto de Física/Faculdade de Educação.

^b USP - Faculdade de Educação

RESUMÃO

Este trabalho tem como objetivo discutir o papel dos modelos no entendimento dos indivíduos. Em uma pesquisa anterior (Gurgel e Pietrocola, 2005) foi verificado que os modelos explicativos que têm uma maior mecanicidade, no sentido definido pelo filósofo Mario Bunge, geravam um maior entendimento nos alunos e faziam com que eles se apropriassem desta explicação como uma interpretação da realidade. Para esta pesquisa, fazemos uma análise teórica sobre a noção de modelização e o conceito de mecanicidade com o objetivo de aprofundar estas idéias para que sirvam de base para outras reflexões sobre o processo de construção de explicações. Para isto, apresentaremos um estudo histórico sobre as explicações acerca do calor no século XVIII, enfocando o debate entre dois modelos teóricos diferentes existentes na época, o modelo do calórico e o modelo vibracional, mostrando como neste debate a mecanicidade das explicações elaboradas pelos cientistas destas duas correntes foi um elemento importante para a aceitação destes modelos e na validação de um deles como correto.

1 - INTRODUÇÃO

Através da nossa experiência como professores, podemos perceber que determinadas explicações apresentadas aos alunos fazem mais sentido que outras. Muitas vezes, por mais que dentro do contexto escolar a construção de significados seja eficiente, percebemos que fora deste contexto muitas das explicações aprendidas na escola se perdem e, em geral, o aluno permanece lidando com o mundo através de suas concepções alternativas (Peduzzi, 2001; Pinheiro, 2003). Isso nos leva a questionar quais atributos uma explicação deve ter para que o aluno a aceite como uma forma de interpretar a realidade e não como algo que somente faz sentido no contexto escolar. Em um trabalho anterior (Gurgel e Pietrocola, 2005) foi verificado que os alunos validavam e se apropriavam de um modelo explicativo quando este tinha uma maior *mecanicidade*. No entanto, percebemos que esta noção de mecanicidade, proposta por Mario Bunge, é pouco explorada tanto na literatura filosófica quanto nos trabalhos de ensino. Com isso, iremos neste trabalho, através de uma análise histórica, mostrar que um dos fatores que contribuem para a aceitação de um modelo explicativo é sua mecanicidade e, através disso, iremos explorar noções teóricas importantes para as pesquisas em ensino/aprendizagem sobre o tema das explicações.

2 - 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).

Para ele, o primeiro passo para gerar modelos teóricos explicativos 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, representantes de 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 qualquer parcela do mundo. Mas ela é uma estrutura racional que não pode ser aplicada à realidade diretamente. Ela depende da construção dos elementos conceituais que possam ser *racionalizados*, os objetos-modelo.

Quando temos uma teoria para o objeto-modelo, ou um objeto para uma teoria, ocorre a construção de um *modelo teórico* de uma parcela da realidade.

“Quando suposições e dados especiais respeitantes a um corpo particular [objeto-modelo] são associados à mecânica clássica e à teoria da gravitação [teorias gerais], produz-se uma teoria especial [modelo teórico] sobre esse corpo. Temos deste modo teorias lunares, teorias sobre Marte, teorias sobre Vênus, e assim por diante” (Bunge apud Pietrocola, 1999).

Apesar de o modelo teórico ser baseado em uma representação da realidade, que muitas vezes acaba sendo uma aproximação grosseira desta, Bunge aponta que esta é a única ou melhor forma de *apreendermos a realidade racionalmente*. Muitas vezes investimos em modelos que são matematicamente muito complexos e fisicamente muito simples. Mas o que o autor observa é que não haveria outra forma de se proceder.

“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 entende os modelos como capazes de representar a realidade. Mas ele vai além, atribuindo-lhes papel de simulador de real, ao dizer que todo modelo teórico deve, cedo ou tarde, definir mecanismos internos que dêem sustentação às relações nele existentes. Nesse sentido, as coisas são os modelos teóricos que as representam, e sua essência passaria então a ser determinada pelos mecanismos hipotéticos ou escondidos, nele presentes” (Pietrocola, 1999).

Bunge cria uma diferenciação sobre a natureza dos modelos e sua forma de representar a realidade. Podemos construir muitos tipos de modelos-teóricos, mas eles devem se encontrar sempre entre dois extremos. Começamos pelo modelo do tipo *caixa preta*. Este modelo relaciona eventos, sem se preocupar em saber o mecanismo de relação entre eles. Ele é dotado apenas de entrada e saída. O modelo *mecânico*, por sua vez, 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.

A modelização de caixa negra é considerada 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.

No entanto, Bunge aponta que o mecanismo é fundamental para que se **entenda** realmente o processo.

“Um tal modelo, por assim dizer behaviorista de um sistema satisfará as exigências da filosofia empirista (positivismo, pragmatismo, operacionismo, fenomenismo) portanto, sem ultrapassar demasiado o observável, permite condensar um grande número de dados empíricos e prever a evolução do sistema. Mas não conseguirá explicar a sua conduta e permanecerá bastante isolado do resto do saber. A fim de obter uma tal explicação e para estabelecer outros contatos com outras teorias e, com mais forte razão, com outras disciplinas, será preciso demonstrar o mecanismo.(...) a opção é entre o conhecimento superficial (descrição e previsão da conduta) e o conhecimento aprofundado (explicação e capacidade de prever efeitos inauditos). Mas nos dois casos trata-se da construção de objetos-modelo e de modelos teóricos”. (Bunge, 1974; grifos nossos).

A determinação dos mecanismos do modelo e, conseqüentemente, a criação da ontologia da explicação, isto é, sua vinculação com a realidade, é um processo complicado, pois a maior parte dos mecanismos está “escondida” 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 satisfizer as 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. Mostraremos a seguir que modelos teóricos que existiram no passado foram produzidos e bem aceitos devido à sua mecanicidade, que permitia um entendimento de diversos fenômenos.

3 – A HISTÓRIA DO CONCEITO DE CALOR.

Muitas das propriedades da termodinâmica, como a dilatação e a transferência de calor já eram conhecidas desde a Antigüidade. Havia debates sobre a natureza do calor entre os mais antigos filósofos das mais diferentes tradições. Mas foi apenas no século XVII que começou efetivamente os estudos sobre o calor, incluindo experiências, que se restringiram até o século XVIII a determinar um bom termômetro (Allard, 1960). Isso foi extremamente importante para a distinção entre calor e temperatura, algo que não era claro em meados do século XVIII e que foi feita pelo estudante de medicina e também cientista Joseph Black (1728-1799), contribuindo para a discussão sobre a natureza do calor, como veremos a seguir.

3.1 - Calor como vibração e calor como fluido: um debate.

Desde o início da filosofia uma das questões centrais foi a discussão sobre a natureza dos elementos. Este problema está presente nas filosofias dos primeiros pensadores como Tales de Mileto (624-546 a.C.), Anaximenes (586-525 a.C) e Heráclito (535-470 a.C) e continuou presente durante o desenvolvimento da filosofia. Nestes e em trabalhos posteriores, o problema da natureza do calor já começa a aparecer. Uma das primeiras noções podem ser ligadas ao fogo, como elemento causador de fenômenos, ou à idéia proposta pelos atomistas Leucipo (500-430 a.C) e Demócrito (460-370 a.C) para qual o calor era atribuído a átomos muitos móveis que escapam incessantemente dos corpos muito quentes (Silva, 1995). Também na Antigüidade aparecem as relações entre movimento e calor na obra de Platão (427-347 a.C) e Aristóteles (384-322 a.C), por exemplo.

Entretanto é importante perceber que todas essas primeiras noções acerca da natureza do calor, apesar de a princípio anteceder algumas idéias sobre sua natureza como substância material ou movimento, ainda são concepções muito distantes das concepções contemporâneas que começam a ser desenvolvidas por volta do século XVI, momento em que tanto o embasamento teórico como experimental começam a se estruturar de maneira mais clara. Talvez a idéia de calor como vibração deva ser atribuída a Francis Bacon (1561-1625). Para ele, o calor se relaciona com a vibração de átomos e moléculas. 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 (1571-1630), Leibniz e Newton também eram a favor da teoria do calor como vibração, mas para Newton, o calor era uma oscilação do éter com origem nos corpos celestes, o que serviu de base para as acusações de seu opositor Leibniz de que suas idéias eram tão ocultas e obscuras quanto as dos antigos. (Castro, 1993). Outro investigador que defendeu a teoria dinâmica do calor foi Robert Boyle (1627-1691). Ele fez em sua obra "Of the mechanical origin of heat and cold", importantes e bem articuladas declarações que reforçaram a teoria do calor como forma de movimento. Vale a pena transcrever uma parte de seu Experimento VI.

"... 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; (...) se um grande prego for conduzido por um martelo em uma tábua grossa, ou pedaço de madeira, ele receberá diversos golpes na cabeça antes de se tornar quente; mas quando sua cabeça é forçada, de tal forma que o prego não pode mais avançar, bastam poucos golpes para torná-la consideravelmente quente; por enquanto, a cada pancada do martelo, o prego entra mais e mais na madeira, o movimento, que é produzido, é basicamente progressivo, e é do prego como um todo indo em uma direção; ao passo que, quando o movimento cessa, então o impulso dado pela pancada, sendo incapaz tanto de destruí-lo, deve ser gasto em produzir uma violenta e desordenada comoção interna das partes entre si, de tal forma como primeiramente observamos consistir a natureza do calor." (Boyle apud Souza Filho, 1987, grifos nossos)

Veremos como este fenômeno pode ser explicado pela teoria do calórico e perceber como em ambas as teorias há uma argumentação refinada, fazendo com que novos experimentos sejam feitos com o objetivo de se determinar uma melhor teoria.

3.2 - A Teoria do Calórico

A teoria do calórico surgiu para explicar 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, isto é, 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 ao fluido do calor foi Lavoisier em 1789 (Castro, 1993), mas esta idéia era defendida por outros cientistas como Boerhaave, Musschenbroeck e Black. O calórico seria um líquido imponderável, que se transferiria dos corpos mais quentes para os corpos mais frios. Isto ocorreria devido à capacidade dos materiais atraírem o calórico. Além disso, este fluido teria propriedades internas como a da auto-repulsão, isto é, suas partes repelem umas às outras, sendo ele um fluido elástico e existiria um princípio de conservação do calórico, não sendo possível a criação ou destruição deste. Esta característica, que a princípio dava um grande poder de explicação do fenômeno de

transferência de calor ao calórico, é o que acabará por ser um dos principais argumentos contra a teoria.

Black, um dos mais importantes defensores da teoria do calórico, utiliza seus experimentos em que descobriu que os corpos têm diferentes capacidades para o calor, para justificar sua concepção material do calor, buscando mostrar que o calor não poderia ser considerado como vibração. Apresentaremos agora, alguns trechos do texto de Black, em que ele discute a natureza do calor.

“A segunda melhoria em nosso conhecimento sobre o calor, que tem sido alcançada pelo uso de termômetros, é a noção que agora temos, mais que anteriormente da distribuição do calor entre diferentes corpos (...). Pelo uso destes instrumentos (termômetros) aprendemos que se nós tomamos mil ou mais diferentes tipos de materiais (...) embora eles estejam todos, a princípio, a diferentes calores, deixando-os juntos numa mesma sala sem aquecimento e não iluminada pelo sol, o calor será comunicado dos corpos mais quentes para os mais frios durante algumas horas (...) ao fim desse tempo se nós usarmos um termômetro, veremos que eles estarão precisamente num mesmo grau.

Anteriormente, era uma suposição comum que as quantidades de calor requeridas para aumentar o calor de diferentes corpos de um mesmo número de graus eram diretamente proporcionais à quantidade de matéria de cada um deles e, por isso, quando corpos fossem do mesmo tamanho as quantidades de calor seriam proporcionais à densidade deles. Mas logo depois comecei a pensar neste assunto (1760). Percebi que esta opinião era um erro e que as quantidades de calor que diferentes tipos de matéria devem receber para se reduzirem ao equilíbrio com outros, ou para aumentar suas temperaturas em um mesmo número de graus, não são proporcionais à quantidade de matéria de cada um, mas em proporções amplamente diferentes destas e para quais nenhum princípio geral ou razão pode ser assinalada.(...)

Para elucidar isto com exemplos numéricos, suponhamos que a água esteja a 100 graus de calor e que uma igual medida de mercúrio a aquecido esteja a 150 graus, sendo rapidamente misturados e agitados. Sabemos que a temperatura média entre 100 e 150 é 125 e sabemos que esta temperatura será produzida pela mistura de água a 100 graus com igual quantidade de água a 150 graus;(...) Mas quando o mercúrio aquecido é usado no lugar da água, a temperatura da mistura é de 120 graus somente, em vez de 125. O mercúrio, portanto, fica 30 graus menos quente, enquanto a água fica apenas 20 graus mais quente e a quantidade de calor que a água ganhou é a mesma que o mercúrio perdeu. Isto mostra que a mesma quantidade de matéria do calor tem mais efeito ao aquecer o mercúrio que ao aquecer a mesma quantidade de água. (Black apud Castro, 1993)

A teoria vibracional tinha dificuldade em explicar este fato. Um material mais denso, por exemplo, duas vezes mais denso que outro, teria o dobro de partículas em um mesmo dado volume. Logo, para poder esquentá-los em uma mesma quantidade teríamos que dar o dobro de calor em forma de vibração, o que não era evidenciado pelos experimentos com o mercúrio e a água. Lembremos que a densidade do mercúrio é 13,6 vezes maior que a da água.

“Talvez nem mesmo dois deles (materiais diferentes) recebessem precisamente a mesma quantidade, mas cada um, de acordo com sua capacidade particular ou particular força de atração por essa substância, atrairia ou requereria sua própria quantidade peculiar para aumentar a temperatura.” (Black apud Castro, 1993; grifos nossos).

De acordo com a teoria do calórico, as partículas do corpo deveriam atrair o calor. Para os caloristas, cada material atrairia o calórico com uma determinada magnitude, justificando assim os diferentes calores específicos.

Um trabalho importante para a concepção material do calor é o de Christian Wolff (1679-1754), para quem cada corpo material tinha dois tipos de poros para absorver o calor: os muito grandes que seriam preenchidos pelo ar e os muito pequenos estariam ligados à matéria. No estado ordinário, este calor estaria em repouso e não poderia ser detectado, só se tornando sensível pelo movimento. (Castro, 1993). Apresentarei a explicação de Wolff 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, do mesmo modo que aparece em Black. Mas o problema que ainda ficará por ser explicado, é o de como apenas o calórico acumulado em cavacos, pode gerar grandes quantidades de calor.

3.3 - Rumford e o Combate à Teoria do Calórico.

A teoria do calórico se torna cada vez mais poderosa na época e vinha sendo aceita por diversos investigadores. Mas no final do século XVIII, Benjamin Thompson (1753-1814), americano que mais tarde receberia o título de Conde Rumford, atacaria a teoria do calórico, não só do ponto de vista experimental, quanto do ponto de vista teórico. Ele não aceitava uma teoria material em que não se pudesse ter acesso a tal substância. Tendo acesso às melhores balanças da Europa e supervisionando o trabalho de calibração de canhões numa fábrica de Munique (1798), preocupou-se inicialmente com o peso do calor. Seus experimentos levaram-no a concluir serem inúteis todas as tentativas de se descobrir qualquer efeito do calor no peso dos corpos (Castro, 1993). Enquanto trabalhava na supervisão de perfurações de canhões, Rumford observou que o calor produzido pelos canhões era muito grande, e com isso começou a perceber a incompatibilidade com a teoria do calórico. Este deveria se conservar, sendo assim, não poderia ser criado constantemente durante a perfuração dos canhões. Mas de onde viria todo aquele calor produzido na perfuração dos canhões? Nas palavras de Rumford:

“Estando recentemente encarregado da superintendência de perfuração de canhões, numa oficina de arsenal militar em Munique, fiquei impressionado com o considerável grau de calor que uma peça metálica adquire, em pequeno tempo, sendo perfurada; e com o calor até mais intenso (maior que o da água fervente como comprovei pela experiência) das lascas metálicas originadas pela perfuração.

Quanto mais eu pensava nestes fenômenos mais eles pareciam ser para mim curiosos e interessantes. Uma completa investigação deles parecia, ao mesmo tempo, oferecer uma satisfatória interpretação para a natureza oculta do calor e nos tornar capazes de tecer alguma conjecturas razoáveis em relação a existência ou não de um fluído ígneo: assunto que há muito tem dividido a opinião dos filósofos (...)

De onde vem o calor produzido na operação acima mencionada?

É ele fornecido pelas lascas metálicas que são separadas do metal pelo perfurador?

Se este fosse o caso, então, de acordo com as modernas doutrinas da calor latente e do calórico, a capacidade para o calor das partes do metal reduzidas em lascas deveria não

somente ser mudada, mas a mudança sofrida por elas deveria ser suficientemente grande para justificar o calor produzido.

Mas tal mudança não ocorre. Tomando iguais quantidades em peso dessas lascas e de finas camadas do mesmo bloco metálico, separadas por meio de uma serra muito boa, coloquei-as a uma mesma temperatura (igual a água fervente), em quantidades iguais de água fria (temperatura de 59,5° F); a porção de água na qual as lascas foram colocadas não foi mais ou menos aquecida que a outra de água, na qual as placas metálicas foram colocadas.

Este experimento foi repetido várias vezes; o resultado foi sempre o mesmo e não pude determinar nada, nem mesmo que a mudança tinha sido produzida no metal pela produção de lascas, através da observação de sua capacidade para o calor.

É, pois, evidente que o calor produzido não podia ter sido fornecido pelo “gasto” do calor latente das lascas metálicas” (Rumford apud Castro, 1993).

Segundo a teoria do calórico, a produção de calor, por fricção, originou-se da liberação da substância do calor, de sua combinação química ou associação mecânica com a matéria dos dois corpos atritados mutuamente; daí deverem ser proporcionais entre si a quantidade de calor e o número de fricções. Mas o problema apresentado por Rumford acima, é que seria necessária uma brusca mudança na estrutura da matéria 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 o 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.

Nestes mesmos estudos, ele pode verificar que as brocas embotadas produziam mais calor e realizavam menos trabalho de perfuração do que as afiadas, contrariando a teoria do calórico, pela qual estas teriam desgastado o metal do canhão com mais eficiência e liberando maior quantidade da substância do calor ligada ao metal. Tal quantidade de calor era produzida somente pela energia mecânica e por essa razão Rumford concluiu ser o calor, em si mesmo, uma forma de movimento mecânico (Mason, 1964).

“De onde vem o calor que é continuamente liberado desta maneira nos experimentos precedentes? Foi ele fornecido por pequenas partículas do metal, arrancadas da massa sólida que foi atritada? Este, como já vimos, não pode ter sido o caso.

Foi ele fornecido pelo ar? Isto não pode ser, uma vez que em três experimentos o maquinário esteve imerso em água e o acesso do ar atmosférico foi completamente evitado.

Foi ele fornecido pela água que envolve o maquinário? Que isto não pode ser é evidente. Primeiro, porque esta água estava recebendo continuamente calor e não poderia dar calor a um corpo ao mesmo tempo que o recebe dele. Segundo, porque não houve nenhuma decomposição química (o que não seria razoável esperar). Se houvesse, um de seus componentes elásticos (mais provavelmente o ar inflamável) deveria ao mesmo tempo ter sido posto em liberdade e, escapando para a atmosfera, teria sido detectado. Embora eu tivesse examinado freqüentemente a água para ver se alguma borbulha de ar subia através dela e tivesse igualmente preparado para pegá-las e examiná-las se algumas surgisse, não pude perceber nada; não havia sinal de decomposição de qualquer tipo, nem outro processo químico ocorreu na água (...)

Não devemos esquecer de considerar esta mais remarcável circunstância, na qual a fonte de calor gerada por fricção parecia evidentemente inexaurível.

“É forçosamente necessário admitir que o que um corpo isolado ou sistema de corpos podia produzir de modo contínuo, sem limitação, não podia ser substância material e parece-me extremamente difícil, senão impossível imaginar algo capaz de ser produzido ou comunicado da forma como o calor o foi nestes experimentos, exceto se ele for movimento.” (Rumford apud Castro, 1993).

Com isso, Rumford consegue demonstrar a insuficiência da teoria do calórico, mas não chega a propor novas concepções sobre a natureza do calor. Com isso, a teoria do calórico ainda resiste por mais alguns anos. Com o desenvolvimento de outros conceitos como o de trabalho e energia, e o desenvolvimento da teoria atômica, é possível uma formulação refinada sobre a natureza vibratória do calor, fazendo com que a teoria do calórico tenha um verdadeiro fim.

4 – ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES HISTÓRICAS.

Como vimos no início deste trabalho, cada explicação é gerada através da construção de um modelo teórico para uma determinada parcela da realidade, buscando gerar um entendimento sobre as relações internas que ocorrem no fenômeno. Nesta seção, utilizaremos os conceitos da epistemologia de Mario Bunge para analisar as explicações históricas para cinco fenômenos selecionados, buscando mostrar que a mecanicidade de um modelo é importante para a aceitação da explicação na época. Os fenômenos serão apresentados em ordem cronológica, de acordo como foram discutidos pelos cientistas no século XVIII, no entanto, apontamos que esta ordem é bastante subjetiva, pois o debate não ocorreu em um determinado instante do tempo, mas ocorreu durante períodos, o que faz com que muitas discussões se superpussem. Por isso, evitamos datar os fenômenos apresentados a seguir.

A teoria do calórico e a teoria vibracional, que na verdade não são teorias, mas são assim comumente chamadas, podem ser traduzidas da seguinte forma em termos da epistemologia de Bunge:

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

Fenômeno 1: Transferência do calor¹.

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

Análise Comparativa:

O modelo do calórico pode ser considerado um modelo com maior “mecanicidade”, pois permite explicar melhor a dinâmica interna do processo ao determinar como o calor passa de um corpo para outro. O modelo vibracional não explica o fenômeno de transferência das vibrações das

¹ O título dado aos fenômenos analisados já faz referência a termos científicos atuais, que não existiam na época. Optamos por isso apenas como facilitador da análise, visto que este trabalho não tem apenas como objetivo a discussão de um episódio histórico.

partículas, ficando aberta a questão sobre como corpos que não estão em contato poderiam transmitir suas vibrações.

Fenômeno 2 – Relação do Calor com o Trabalho:

Modelo teórico vibracional

Quando atritamos ou golpeamos o material, estamos lhe fornecendo movimento e isto faz com que sua temperatura aumente.

Modelo teórico do calórico

Quando atritamos materiais ou o golpeamos, o calórico das regiões centrais é "exprimido" para a superfície que conseqüentemente esquenta.

Análise Comparativa:

•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 *adicionado* ao material.

Fenômeno 3: Ponto de equilíbrio térmico e a natureza do calor específico

Modelo teórico vibracional

As partículas têm diferentes formas de vibrar internamente no material, fazendo com que ele tenha uma diferente capacidade de absorver calor

Modelo teórico do calórico

Diferentes materiais terão diferentes capacidade de atrair o calórico. Quando atingimos o equilíbrio térmico, o equilíbrio de forças entre as partículas do material e o calórico, faz com que a maior capacidade de atrair o calórico permite a um material reter mais calor que outros

Análise Comparativa:

•O modelo vibracional é *rejeitado* através da argumentação realizada por Joseph Black de que os materiais com maior densidade (como o mercúrio citado por ele) deveriam precisar de uma grande quantidade de calor para esquentar (por ser mais *denso* deveria precisar de muito mais *vibração*) o que não podia ser verificado pelos experimentos.

• Podemos notar que neste caso o modelo vibracional se aproxima de um modelo de *caixa-preta*, pois eles não tinham entendimento (modelos) para a dinâmica interna dos materiais, fazendo com que o modelo do calórico ofereça uma melhor explicação e que os argumentos de Black sejam validados.

Fenômeno 4: Mudanças de Fase

Modelo teórico vibracional

Quando as partículas do material ganham movimento/vibração em excesso, o movimento brusco em seu limite causa a mudança de fase do material

Modelo teórico do calórico

O calórico ganha novas definições, sendo capaz de não apenas promover mudanças de temperatura mas através de seu acúmulo promover as mudanças de fase (calor latente).

Análise Comparativa:

•Podemos ver que em ambos os modelos conseguem explicar o fenômeno, mas um fator que não foi citado é que o modelo do calórico fornecia uma explicação para a mudança estrutura do material, pois o excesso de "calórico latente" seria o responsável pelo caráter *líquido* dos materiais após a fusão do gelo (devemos lembrar que o calórico é um fluido).

Fenômeno 5: Geração de Calor (1798)

Modelo teórico vibracional

Modelo teórico do calórico

Admite a possibilidade de geração de calor através do movimento sendo que esta pode ser considerada uma fonte inesgotável de calor

O princípio de conservação do calórico faz com que seu modelo não permita a geração de calor, sendo que este somente pode ser transferido de um corpo para outro, ou acumulado em *diferentes regiões de um corpo* possibilitando a identificação de uma alta temperatura em determinadas condições.

Análise Comparativa:

•Por mais que o fenômeno da geração de calor através do movimento fosse conhecido há muito tempo, o modelo do calórico dava uma explicação parcial para esse fato. Em 1798 Rumford faz experimentos cuidadosos em que mostra que a quantidade de calor produzida pelo movimento é muito grande em comparação ao calor que poderia ser gerado através do fornecimento de calórico, mostrando falhas neste modelo.

Podemos perceber que durante o debate realizado por caloristas e vibracionistas, nas explicações dadas aos primeiros fenômenos apresentados o modelo do calórico apresentava uma maior mecanicidade em suas explicações. Isso fez com que este modelo passasse e ser bem aceito por uma grande parcela da comunidade científica da época. No entanto, com o passar do tempo, o modelo vibracional começa a se configurar como uma boa explicação para novos fenômenos e, somente com ela, podemos explicar a produção contínua do calor, pois o mecanismo do modelo permite pensar na relação entre os movimentos e a vibração interna do corpo.

5 – Considerações Finais.

Este trabalho se restringiu a fazer uma discussão histórico-epistemológica acerca do temas das explicações. A análise histórica quando feita à luz da filosofia nos ajuda a compreender a construção e desenvolvimento da ciência. Através disso, podemos perceber que muitas das concepções existentes no passado, que recorrentemente são vistas pelos olhos de nossa época como ingênuas, têm um poder explicativo bastante grande, o que levou os cientistas a considerarem estas entidades como verdadeiras. Não pretendemos aqui fazer uma discussão acerca da utilização da história da ciência no ensino ou sua validade como instrumento didático em sala de aula, mas buscamos mostrar que se no desenvolvimento histórico de uma idéia, seu potencial explicativo foi determinante na sua elaboração, podemos considerar este mesmo critério como importante quando tentamos levar o aluno a conhecer determinado conceito. Mesmo que haja uma grande limitação na analogia que compara o desenvolvimento histórico com o desenvolvimento do indivíduo, a história não deixa de ser um bom referencial para a reflexão sobre a natureza do conhecimento e suas possibilidades. Assim, consideramos que a mecanicidade de uma explicação pode ser um elemento importante se buscamos fazer com que os alunos compreendam explicações científicas e que estas se transformem em uma interpretação da realidade que o cerca.

6 – Bibliografia.

ALLARD, G. **A teoria do calor da século XVI ao XVIII.** In: História Geral das Ciências – A ciência Moderna – Tomo II - Volume 3. São Paulo: Difusão européia do livro, 1960

BUNGE, M. **Teoria e realidade.** São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUNGE, M. **Racionalidad y realismo.** Madrid: Alianza editorial, 1985.

BUNGE, M. **La investigación Científica.** Barcelona: Ariel, 1989. 955p.

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.

GURGEL, I.; PIETROCOLA, M. **O Papel dos Modelos no Entendimento dos Alunos**. A ser publicado nos Anais do V ENPEC: Bauru, 2005.

GILBERT, A. **Origens históricas da Física Moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982

LINDSAY, R. B. **Energy: Historical development of the concept**. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc 1975

MAGIE, W. F. **A source book in physics**. New York and London: McGrawHill Book Company, 1935

MASON, S. F. **História da ciência**. Rio de Janeiro, 1964

PEDUZZI S **Concepções Alternativas em Mecânica**. In: PIETROCOLA, M.(org). Ensino de Física – conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

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.