

UMA PROPOSTA DE PERFIL CONCEITUAL PARA O CONCEITO DE CALOR (A conceptual profile proposal for the concept of heat)

Edenia Maria Ribeiro do Amaral
Departamento de Química
Universidade Federal Rural de Pernambuco
edsamaral@uol.com.br

Eduardo Fleury Mortimer
Programa de Pós-graduação da Faculdade de Educação
Universidade Federal de Minas Gerais
mortimer@dedalus.lcc.ufmg.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de perfil conceitual para a noção de calor, a partir dos dados de algumas das várias pesquisas já feitas acerca deste tema (Erickson, 1985; Silva, 1995; Barbosa Lima e Barros, 1997 e Mortimer e Amaral, 1998). Para a análise das idéias foram usados os trabalhos de Bachelard (1996), que se refere à noção de obstáculo epistemológico ao desenvolvimento do conhecimento, e o trabalho de Chi (1992), onde são apresentadas algumas das dificuldades de aprendizagem dos conceitos em ciências a partir de uma categorização ontológica básica do conhecimento. Ao final da análise, uma estruturação das idéias foi feita considerando a noção de perfil conceitual como proposta por Mortimer (1995) com a determinação de cinco zonas para o perfil conceitual de calor: realista, animista, substancialista, empírica e racionalista.

Abstract

This work aims to present a proposal of conceptual profile for the notion of heat, constructed from data of some researches concerning this theme (Erickson, 1985; Silva, 1995; Barbosa Lima and Barros, 1997 and Mortimer and Amaral, 1998). The analysis of the ideas was based on Bachelard's (1938/1996) notion of epistemological obstacle to the development of scientific knowledge, and the work of Chi (1992), where some of the difficulties of learning concepts in sciences were studied considering basic ontological categories. After the analysis, the ideas were structured using the notion of conceptual profile proposed by Mortimer (1995) and five zones for the conceptual profile of heat were proposed: realistic, animistic, substancialist, empiric and rationalistic.

Introdução

O conceito de calor já foi estudado em muitos trabalhos de pesquisas na área de educação em ciências, os quais discutem aspectos variados como concepções espontâneas dos estudantes, dificuldades de aprendizagem, propostas de estratégias de ensino, História da Ciência e outros (Albert, 1978; Brook, Briggs, Bell e Driver, 1984; Cervantes, 1987; Erickson, 1985; Silva, 1995; Barbosa Lima e Barros, 1997; Mortimer e Amaral, 1998; etc..). Pesquisas que consideram os aspectos energéticos das reações químicas apontam para as dificuldades que os alunos têm em relação à aprendizagem do conceito de energia e seus correlatos (Duit, 1984; Gilbert & Pope, 1986; Ogborn, 1990 in Boo, 1998), ou ainda, dificuldades quanto à aprendizagem de um grande número de conceitos abstratos como, calor, energia, temperatura e energia de ligação (Cohen e Ben-Zvi,

1992 in Boo, 1998). Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise das principais idéias presentes nas concepções dos alunos e que também são encontradas no desenvolvimento histórico do conceito de calor. Usaremos como referência principal os trabalhos de Erickson (1985) sobre concepções de estudantes acerca de calor e temperatura; o de Silva (1995), sobre as trajetórias cognitivas dos alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura, mas que ao mesmo tempo trata do desenvolvimento histórico desses conceitos; e o trabalho de Mortimer e Amaral (1998), sobre as idéias de calor e temperatura presentes em situações de ensino de termoquímica.

A análise das idéias compiladas da literatura será feita tomando por base duas referências teóricas: a noção de obstáculo epistemológico de Bachelard (1996), que será utilizada para identificar compromissos filosóficos implícitos no desenvolvimento histórico do conceito e nas concepções dos estudantes; e a categorização ontológica do conhecimento proposta por Chi (1992), que será usada para identificar obstáculos ontológicos ao desenvolvimento do conceito. Com essa análise pretende-se estruturar as idéias em diferentes zonas que constituem o perfil conceitual de calor.

A noção de perfil conceitual (Mortimer, 1995) estabelece que um único conceito pode estar disperso entre vários tipos de pensamento filosófico e apresentar características ontológicas também diversas, de forma que qualquer pessoa pode possuir mais de uma forma de compreensão da realidade, que poderá ser usada em contextos apropriados. A elaboração do perfil prevê a estruturação das idéias em diversas zonas que representam diferentes compromissos epistemológicos e características ontológicas distintas. Cada zona do perfil corresponde a uma forma de pensar e falar sobre a realidade, que convive com outras formas diferentes num mesmo indivíduo. O perfil conceitual pode se constituir num instrumento para planejamento e análise do ensino de ciências. A partir dele, obstáculos à aprendizagem dos conceitos podem ser identificados e trabalhados em sala de aula numa visão de aprendizagem de ciências como mudança de perfis conceituais, onde o aluno não necessariamente tem de abandonar as suas concepções ao aprender novas idéias científicas, mas tornar-se consciente dessas diversas zonas e da relação entre elas.

Análise das concepções de calor descritas na literatura

Seguindo o curso do desenvolvimento histórico ou investigando as idéias apresentadas pelos alunos em sala de aula, é possível realizar uma categorização e análise das principais idéias encontradas com relação ao conceito de calor. As categorias estabelecidas poderão representar zonas que estão vinculadas a compromissos epistemológicos e ontológicos distintos e apontam para possíveis obstáculos ao desenvolvimento do conceito científico. A análise feita neste trabalho toma por base a noção de obstáculo epistemológico que, segundo Bachelard (1938/1996), aparece no âmago do próprio ato de conhecer como “por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos” podendo ser a causa de inércia e estagnação e até regressão na busca do conhecimento. Esta noção pode ser estudada tanto no âmbito do desenvolvimento histórico do pensamento científico quanto na prática da educação. Bachelard propõe vários tipos de obstáculos e para cada um deles faz um estudo detalhado. Neste trabalho, a análise das idéias relacionadas ao conceito de calor permitiu a identificação dos obstáculos substancialista, animista e da primeira experiência, que são sugeridos por Bachelard (1938/1996).

Também será feita uma análise baseada no trabalho de Chi (1992), no qual são apontadas dificuldades ontológicas que podem ocorrer nos processos de aprendizagem, que neste trabalho serão consideradas como obstáculos ontológicos. A autora propõe três categorias principais, que poderiam descrever as características ontológicas da maior parte dos conceitos científicos. Essas categorias são distintas do ponto de vista da realidade física e também podem ser percebidas por adultos como psicologicamente distintas: matéria (ou substância material), eventos e abstrações, sendo cada uma delas consideradas como árvores que possuem várias ramificações (categorias subordinadas-superordenadas). A partir dessas três categorias, são definidas algumas formas de

compreensão da realidade intrínseca e psicológica. Para a realidade intrínseca, as entidades de cada categoria são governadas por um conjunto de limites ou leis. As entidades de uma categoria não podem se transformar, por meio de operação física (cirurgia ou movimento), em entidades de outra categoria. A matéria, por exemplo, possui propriedades (cor, volume, massa, etc.) e comportamentos (pode ser contida ou armazenada, por exemplo), enquanto eventos são governados por outro conjunto distinto de leis físicas tais como a variação com o tempo, ter começo e fim, etc. Nenhuma operação física pode transformar matéria em evento, por exemplo, o homem (matéria) pode participar de uma corrida (evento) caracterizando homens em movimento, mas homens não se transformam em corridas (Chi, 1992). Para a realidade psicológica, a sensibilidade dos termos predicativos determinará se os conceitos pertencem a categorias ontológicas distintas. Uma tempestade (evento), por exemplo, pode durar uma hora (mesmo que isso seja falso), mas não se pode dizer que uma tempestade tem uma massa determinada. Nenhum mecanismo psicológico (supressão ou adição de fatores, analogia, generalização, especialização) pode transformar um conceito de uma categoria em um conceito de outra categoria ontológica. A partir destas considerações a autora estabelece que os processos de mudança conceitual são distintos se estas mudanças ocorrem dentro de uma mesma categoria ontológica ou se ocorrem através de categorias ontológicas diferentes (Chi, 1992). A autora reconhece que o estabelecimento de categorias ontológicas distintas estendidas a várias áreas é um tema psicológico e epistemológico que continua sendo estudado. No seu trabalho, ela propõe as três categorias ontológicas usando a distinção entre realidades psicológica e intrínseca.

As idéias aqui apresentadas não necessariamente obedecerão a uma ordem cronológica, uma vez que numa mesma época ou estágio de desenvolvimento do conceito pode existir mais de um tipo de compromisso epistemológico ou ontológico. É importante ressaltar que nem sempre existe uma linha divisória nítida entre as várias concepções apresentadas para um mesmo conceito ou fenômeno. Dessa forma, num determinado momento, o predomínio de idéias vinculadas a uma doutrina filosófica não representa a ausência de interpretações divergentes da mesma. Este fato pode ser compreendido mais claramente quando se verifica, nos dias de hoje, várias concepções diferentes presentes nas idéias dos alunos, corroborando com a idéia de que estas concepções constituem um perfil conceitual.

Idéias de calor a partir das sensações

As idéias mais primitivas de calor são aquelas nascidas das sensações de quente e de frio. De acordo com Silva (1995), as primeiras noções de calor são advindas da origem e uso do fogo como fonte de calor. A descoberta do fogo revolucionou a vida do homem. Usado como fonte de luz e de calor, constituía-se igualmente numa arma e fonte de energia para a transformação de materiais. Dentre os filósofos naturais que se empenhavam na busca de um princípio único, Heráclito (535-470 a.C.) achava que o fogo estava na base das diversas manifestações e transformações da matéria conhecida. Para ele, a chama podia tomar todas as formas e representava a imagem da diversidade da natureza (Vidal, 1986, Silva, 1995). Na teoria dos elementos, a proposta das formas geométricas, feita por Platão, apresentava o fogo como o elemento mais leve e mais móvel, correspondendo assim ao menor dos poliedros, com o poder de destruição devido às arestas agudas da sua figura. Para Aristóteles, a uma matéria-prima amorfa juntavam-se propriedades e qualidades que a tornavam sensível e determinavam a sua “forma”. Essas qualidades eram em número de quatro e constituíam dois pares opostos (quente e frio, seco e úmido). Para Aristóteles, eram essas qualidades, e não os elementos, que constituíam a base primordial de todas as coisas, já que os elementos correspondiam a combinações de qualidades. O fogo, por exemplo, combinava o par quente-seco (Vidal, 1986).

A idéia de calor, desde os seus primórdios, está relacionada à idéia de quente. Desta forma, a primeira noção de calor está ligada à sensação térmica de quentura. Barbosa Lima e Barros (1997), considerando a relação de contrários na mente infantil, onde o frio é o contrário do quente e também

o contrário de calor, afirma haver uma relação de sinônimos entre quente e calor. Erickson (1985) aponta para o uso dos termos “calor” e “quente” por crianças de 2-3 anos de idade para descrever aspectos dos seus contatos com objetos quentes. Aos 8-9 anos, o “calor” é usado em termos de um “estado de quentura”.

Com a experiência da sensação de quente e de frio no toque de vários materiais, inicia-se a construção da noção de "carga" de calor, onde é desconhecida a existência de uma temperatura ambiente. Termos como "o metal é frio" e "o frio não sobe na madeira" demonstram uma compreensão de que a temperatura é uma característica inerente da matéria. Essas noções podem ser confirmadas até mesmo nas definições para esses termos encontrados nos melhores dicionários da língua portuguesa do Brasil (Barbosa Lima e Barros, 1997). Segundo Mortimer e Amaral (1998), para os alunos, existem dois tipos de “calor”, o calor quente e o calor frio e o calor é considerado como sendo diretamente proporcional à temperatura. Para Silva (1995) há uma tendência, entre os alunos, de estabelecer a temperatura como propriedade dos corpos (não havendo a idéia de equilíbrio térmico), o calor como propriedade dos corpos quentes e o frio como propriedade contrária.

Passar pela experiência das sensações do quente e do frio não produz necessariamente uma reflexão sobre a natureza do calor. Conseqüentemente, as idéias geradas de posturas irrefletidas podem se enquadrar num tipo de obstáculo que Bachelard (1996) chama da “primeira experiência”. Para o autor, o obstáculo inicial à cultura científica aparece com a primeira experiência: “repleta de imagens, é pitoresca, concreta, natural, fácil”. A descrição feita pelo encantamento parece gerar a compreensão. Fazendo uma crítica à tendência de estudiosos que se entregavam a um tipo de frivolidade na qual se acentua o lado pitoresco e se procura causar assombro, Bachelard cita experiências típicas do século XVIII: a de Gordon, que “pôs fogo em bebidas alcoolizadas por meio de um jato de água” (Philo. Trans., Abridged, v. 10, p.276) e a de Dr. Watson, apresentada por Priestley (1771, v.1, p.142), que ‘acendeu o espírito de vinho (álcool)...por meio de uma gota de água fria...’. Nessas duas experiências são mostradas contradições empíricas – “do fogo aceso pela água fria ou pelo gelo” – e parece haver um desejo de abalar a razão pelo caráter misterioso da natureza. É assombroso ver o gelo, que não “contém” fogo em sua substância, lançar faíscas. Assim, num reino de imagens contraditórias, dá-se espaço à fantasia e ao espanto. O autor afirma que tal tendência faz com que uma “ciência insipiente tome conta das melhores cabeças” (p.43). Segundo o autor, é preciso ir além, faz-se necessário racionalizar a experiência, não somente para encontrar “uma razão para um fato” mas também para inserir a experiência “num jogo de razões múltiplas” (p. 51), o que vai de encontro à certeza imediata das “convicções primeiras”. A idéia de calor, vinculada apenas às sensações de quente e frio, sem nenhuma reflexão a cerca da natureza do calor, irá constituir a zona realista no perfil conceitual.

Para além das sensações, idéias sobre a natureza do calor foram sendo desenvolvidas ao longo da história humana. Para Leucipo (530-430 a. C.) e Demócrito (460-370 a. C.), o calor eram átomos móveis que escapavam dos corpos muito quentes (Guaydier, 1984 in Silva, 1995). No trabalho de Shurmann (1946, in Silva 1995), são apresentadas idéias de Platão (427-347 a.C.), escritas no *Timeu*, que distinguem o fogo, que penetra a matéria, do seu efeito, o calor, considerado como o movimento das pequenas partes da matéria.

Algumas idéias sobre a natureza do calor se baseiam em atribuir um caráter anímico à matéria. O calor é considerado como atributo dos materiais e estes podem manifestar “vontades” quanto a sua transferência. A noção de calor e os processos de transferência de calor ou de “frio” também podem estar relacionados à idéia de calor como uma substância com capacidade de penetrar a matéria. Historicamente, essa última idéia apresenta muita força e perdura por séculos nos estudos científicos. Para Bachelard (1996), o obstáculo animista é muito especial, foi muito visível nos séculos XVII e XVIII e quase que totalmente superado pela física do século XIX, enquanto que o obstáculo substancialista constitui-se num “dos mais difíceis obstáculos a superar, porque apoiado numa filosofia fácil”. Para o autor, a idéia de substância e a idéia de vida, entendidas de modo ingênuo, são obstáculos fundamentais à construção de um pensamento científico.

Idéia animista de calor

Bachelard (1996) apresenta o obstáculo animista inicialmente chamando a atenção para o uso da “intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral” (p.185), que faz com que “qualquer outro princípio esmaça quando se pode invocar um princípio vital”. “A vida marca as substâncias que anima com um valor indiscutível” (p.192). O autor sustenta sua argumentação na análise de textos que conferem um lugar preponderante aos reinos vegetal e animal em comparação com o reino mineral (p.186) e mostram um compromisso dos estudiosos em se manter num plano natural fazendo referências aos reinos animal e vegetal para escapar às abstrações. O autor ilustra esta postura a partir de vários exemplos na ciência do século XVIII, nos quais são encontradas idéias como: a existência de um trabalho silencioso e invisível da natureza ativa quando um imã é partido sendo cada uma das partes um novo imã; e a idéia de que a eletricidade deveria ser chamada de vivacidade, uma vez que se trata do princípio primordial da natureza. Segundo o autor, “a questão não é de mera palavra; sua intenção é traduzir fielmente a intuição do fogo e da vida que explica os fenômenos elétricos” (p. 191). Nesse caso, pode-se perceber a idéia do fogo vinculada à idéia de vida. Bachelard ilustra essa visão com algumas citações de autores como Curvier (1844-1845), que se refere a uma substância vivaz que circula toda a natureza; Buffon, para quem a substância ígnea tinha a capacidade essencial de conceder a vida sem, no entanto, ser viva; e Desèze, que considerava o fogo e o calórico como substâncias vivas com propriedades e funções circulando pela natureza. Um outro autor citado é Alberti, que em sua carta a Watson fala da possibilidade de um velho corpo retirar fogo de um mais jovem, fazendo-o perder a sua força natural e cair em estado de torpor. A idéia do fogo como uma substância viva ou vivaz possivelmente impregnou a noção de calor de um caráter anímico. Mesmo após a descoberta e uso do microscópio, a fantasia animista persiste em idéias como a de moléculas de vida para se entender as relações entre o vivente e o inerte.

Erickson (1985) afirma que a dissociação entre o objeto quente e a sensação que ele provoca ocorre nas crianças aos 5-6 anos de idade, onde se pode diferenciar entre a fonte de calor e o objeto que é afetado pela mesma, iniciando-se a consciência de movimento da fonte ao objeto e dos processos de aquecimento e resfriamento. Com relação aos últimos, muitas crianças inventam a entidade “frio” como uma contrapartida ao “calor”. Para explicar o movimento do calor, as crianças parecem descrever o calor como possuindo uma força motora inerente. Silva (1995) apresenta idéias de alunos que atribuem propriedades animistas aos objetos (querer dar ou receber) para explicar os processos de aquecimento ou de resfriamento. Mortimer e Amaral (1998) ressaltam que a idéia de dois tipos de “calor”, o frio e o quente, combinada com a idéia de calor como substância, resulta no pensamento de que calor e frio são atributos dos materiais.

No contexto animista, a atribuição de “vida” pode ser feita ao calor, considerado como uma entidade que se movimenta por suas próprias forças. Em outros momentos, o comportamento animista é atribuído ao objeto ou material que “deseja” receber ou perder calor. É importante ressaltar que, em meio às idéias animistas, aparece a idéia de calor como uma substância que pode penetrar os materiais, o que torna difícil uma distinção entre o obstáculo animista e o obstáculo substancialista do conceito. Uma possível diferença é que, para a idéia animista, o calor seria pensado como substância viva, o que faz do animismo uma forma de categorização subordinada à zona substancialista. A idéia substancialista, que será apresentada a seguir, considera calor como uma substância inerte, ainda que, nas fases iniciais do desenvolvimento histórico do conceito, essa distinção não seja tão nítida, pois foi se estabelecendo à medida que as idéias animistas perdiam força, no final do século XVIII.

Uma possível interpretação para a diferença entre idéias animista e substancialista pode ser feita considerando que há apenas uma mudança dentro da mesma categoria ontológica (o calor visto como substância – matéria) quando se distingue entre calor vivo ou inerte (Chi, 1992). Para mudança do conceito dentro da mesma categoria ontológica, a autora aponta para uma resignificação direta do conceito a partir do conhecimento de algo, sobre o conceito ou sobre a categoria a qual ele pertence, que era anteriormente desconhecido. Dentro da categoria matéria, a

autora propõe a categoria subordinada, espécies naturais, que apresenta ramificações entre vivos (plantas e animais) e não-vivos (sólidos e líquidos). Neste caso, a idéia de substância pertence à categoria ontológica “matéria” e o fato de considerá-la inerte parece representar uma mudança dentro das categorias subordinadas, à medida que se obtém um maior conhecimento sobre a natureza das substâncias.

Idéia substancialista de calor

Segundo Silva (1995), mesmo que Aristóteles e Platão apresentassem a idéia de movimento e separassem a idéia do fogo daquela do seu efeito, o calor, eles acabavam por relacionar o calor ao éter, dando-lhe assim um estatuto de substância. No trabalho de Hoppe (1928 in Silva, 1995) é colocado que tanto para Platão como para Aristóteles, apesar de haver menções de que o movimento produz calor, este não seria constituído a partir do movimento e sim a partir do éter. Segundo o autor, para Platão, calor e frio não eram expressões relativas, uma vez que o pensador considerava que a geada se forma a partir do sereno, quando este perdia o seu conteúdo de fogo, ou ainda, que a neve se formava quando a água perdia sua porção fogo. Segundo Silva, isso nos leva a concluir que, para o pensador grego, havia apenas a idéia de calor e o seu “contrário” (aspas do autor): o frio. É ainda ressaltado que as explicações de Platão e de Aristóteles repercutiram até o final da Idade Média, quando uma referência explícita ao calor como uma substância é encontrada nas palavras de Giordano Bruno (1548-1600) (Bruno, 1548/1984 in Silva 1995). Além deles, muitos outros desenvolveram idéias do calor com uma substância, dentre eles, Lucrecio (95-55 a.C.), Gassendi (1592-1655) e Galileu (1564-1642).

O obstáculo substancialista é apontado como um entrave aos progressos do pensamento científico por Bachelard (1996), que fala de um substancialismo do oculto, um substancialismo do íntimo e um substancialismo da qualidade evidente. No primeiro tipo são usados artifícios de linguagem para construir explicações das qualidades ocultas constituindo-se em ameaça à cultura – “toda designação de um fenômeno conhecido por um nome erudito torna satisfeita a mente preguiçosa” (p.122). No segundo tipo se busca a profundidade mesmo que permaneça a impressão de superficialidade: “a idéia substancialista quase sempre é ilustrada por uma simples continência...é preciso que algo contenha, que a qualidade profunda esteja contida” (p.123). Nesse caso, o autor apresenta uma citação de Nicolas de Locques (1665), na qual o mesmo considera o calor como contido no âmago da substância por um invólucro do seu oposto, o frio: “Friagem volátil que se lança na superfície para impedir a dissipação do calor e servir-lhe de vaso” (p.19). O terceiro caso refere-se à “substancialização de uma qualidade imediata percebida numa intuição direta...pois tal substancialização permite uma explicação breve e peremptória. Falta-lhe o percurso teórico que obriga o espírito científico a criticar a sensação” (p.127). As explicações dadas para expressar o fenômeno são interiorizadas. O fenômeno imediato é tomado como sinal de propriedade substancial e “abafa todas as perguntas” (p.128). Até mesmo algum fracasso na verificação parece ocultar uma qualidade substancial, o que faz o espírito “impermeável aos desmentidos da experiência”.

Como afirmou Bachelard, a idéia substancialista não é fácil de ser superada e isso pode ser comprovado historicamente quando se verifica a resistência que a idéia de calor como substância apresentou às diversas contestações feitas por estudiosos em vários momentos. Francis Bacon, que defendia o calor como movimento e aconselhava o estudo da natureza objetiva do calor sem se deter nas sensações aparentes, apresentou essa nova concepção no seu *Interpretatione Natural*, de 1665, onde o calor é apresentado como um movimento vibratório de um corpo (Hoppe, 1928 in Silva, 1995). Em outras obras, Bacon volta a afirmar que o calor não produz ou gera movimento, mas que “o próprio calor ou algo do próprio calor é movimento e nada mais” e sugere que os estudos sobre calor não se atenham às aparências sensíveis e sim à natureza objetiva do calor. Robert Boyle (1627-1691) pode ser destacado com defensor da idéia de calor como estado de movimento ou vibração das moléculas de um corpo, uma concepção mecânica do calor, também defendida por Huygeus (1629-1695) e Descartes (1596-1650) (Hoppe, 1928 e Schurmann, 1946 in Silva, 1995).

No entanto, essas idéias não ganharam força e os substancialistas, nessa época, continuaram sendo a maioria.

O calor é compreendido por alguns alunos como uma substância, uma espécie de fluido, sendo o frio de conotação semelhante e contrária (Silva, 1995). Como foi mostrado anteriormente, os alunos apresentam idéias de calor “quente” e calor “frio” e desta forma podem pensar que o corpo quente possui calor e o corpo frio possui frio, podendo, conseqüentemente, haver processos de transferência de calor e de frio, o que não faz sentido no pensamento científico dos nossos dias (Mortimer e Amaral, 1998). Erickson (1985) também identifica idéias em crianças mais jovens e parte das crianças mais velhas, nas quais o calor é pensado como igual a um corpo ou substância quente ou como sendo despreendido de uma fonte de calor. Quando pensam no calor como transferência de energia, os alunos, algumas vezes, tratam-no como substância e usam expressões do tipo “fumaças”, “raios” ou “ondas”. Esses termos podem ter emergido da observação direta de alguns fenômenos, tais como, a “fumaça” saindo de uma torradeira elétrica ou “ondas de calor” vindas do asfalto em um dia quente (Erickson, 1985).

Para Chi (1992), as concepções primeiras dos estudantes em relação a alguns conceitos básicos de ciências pertencem à categoria ontológica de substância material, enquanto que para os cientistas eles pertencem à categoria de evento limitado por leis. Assim, os estudantes usam o comportamento e propriedades da matéria para interpretar o comportamento e propriedade de eventos, ou seja, emprestam predicativos e propriedades da categoria de substância material para interpretar eventos em outra categoria alternativa. A autora ressalta a similaridade explícita entre as pré-concepções dos estudantes e as idéias dos cientistas medievais, pois ambos adotam uma visão de substância material. Conseqüentemente, os processos de mudança no conceito, na história e nas crianças, apresentam similaridades, pois representam uma mudança através de categorias ontológicas. Chi constatou, a partir de revisão da literatura, que quatro conceitos são tratados pelos estudantes como entidades com características de substâncias: calor, luz, força e corrente elétrica. Segundo a autora, as concepções de cientistas medievais estavam sob a mesma base. Chi afirma que uma mudança de categoria ontológica é uma das causas de dificuldade na mudança conceitual em ciências.

No auge das teorias substancialistas, os trabalhos de Joseph Black (1728-1799) realizados por volta de 1760, propõem o conceito de calor latente, fazem considerações sobre o conceito de calor específico e sobre a distinção entre temperatura e calor, ainda que o próprio autor tome partido de uma teoria substancialista do calor (Silva, 1995). Em 1783, Lavoisier e Laplace numa célebre publicação conjunta, apresentam a definição atual de calor específico e nesse trabalho pode ser constatada uma vacilação entre as teorias mecanicistas e substancialistas, seguida por uma tentativa de conciliação entre ambas, mas com uma tendência maior a se considerar a teoria substancialista (Schurmann, 1946 in Silva, 1995).

A importância do substancialismo reside em que, apesar de estar fora da doutrina da ciência contemporânea, sobrevive no sutil emaranhado da linguagem e práticas da química e da tecnologia e, como tal, pode confundir o estudante. Embora a ciência contemporânea não atribua propriedades da substância a uma molécula individual, o substancialismo sobrevive nas formas de falar sobre a energia dos processos químicos e das propriedades relacionais. 'Calor latente de fusão' e 'capacidade calorífica' são exemplos da substancialização da energia na linguagem científica. Os alimentos ou os combustíveis são referidos como algo que tem energia armazenada nas ligações químicas. Os livros didáticos de bioquímica explicam que certa energia (substancializada) é liberada quando se quebra uma ligação P-O numa molécula de ATP. A própria definição de molécula, citada na maioria dos manuais e dicionários: "a menor quantidade unitária de matéria que pode existir por si mesma e reter todas as propriedades da substância original" (CRC Handbook of Physics and Chemistry, 1972), é substancialista, pois uma molécula não "retém todas as propriedades da substância original". Uma molécula não se funde nem se dilata. Um átomo de cobre não é castanho avermelhado ou maleável. O substancialismo constitui, portanto, um bom exemplo de como as zonas de um perfil conceitual podem ser interpretadas como distintas formas de falar sobre o mundo. Dado que a forma substancialista de falar é tão penetrante, encontra seus próprios meios de

sobreviver na cultura científica e tecnológica. Engenheiros conversando sobre o isolamento térmico de uma sala tratam o calor como uma substância que se desloca pelo ambiente. Seria absurdo considerar as definições dos manuais e livros didáticos, assim como a forma de falar dos engenheiros, como concepções errôneas ou alternativas, ainda que elas possam induzir os estudantes a pensar dessa maneira. Como sistema de pensamento, o substancialismo seguramente já não faz parte da doutrina científica, mas não desapareceu totalmente como uma potente forma de falar sobre o mundo (Mortimer, 1997).

A diferenciação entre calor e temperatura

Galeno (129-200 d.C.) acreditava que havia uma mistura de calor e frio no corpo humano que, entre outras conseqüências, determinava o estado de saúde do paciente. Ele propôs a representação do calor e do frio por meio de uma escala de graus numéricos. Quando seus tratados foram transpostos para o latim (século XI e XII) a idéia de mistura de graus de calor foi traduzida pelo termo correspondente a *mescla, tempera* (temperatura). Dessa forma, a idéia de temperatura é atribuída primeiramente a Galeno, consistindo numa tentativa de estabelecer um padrão de medida para a mistura entre o quente e o frio no corpo humano, que se popularizou entre médicos do ocidente, como a medida de calor ou frio (Crombie, 1985 in Silva, 1995).

O desenvolvimento de um termômetro que fosse capaz de fazer medidas precisas só aconteceu a partir de 1717 com os trabalhos de Daniel Fahrenheit (1686-1736), cujos aparelhos eram capazes de fazer medidas iguais repetidas vezes. Em 1741, Celsius (1701-1744) construiu um termômetro adotando uma escala com cem divisões entre os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água. Esta escala foi adotada e divulgada pela Comissão de Pesos e Medidas criada pela Revolução Francesa em 1794. Contudo, foi constatado que o surgimento do termômetro reforçou a teoria substancialista do calor (Silva, 1995). No entanto, foi o aperfeiçoamento dos termômetros que permitiu a realização de experiências como as de Black, em 1760, nas quais a distinção entre temperatura e calor proporcionou um salto qualitativo e quantitativo em relação aos trabalhos posteriores. Para Chi (1992), quando Black faz a diferenciação entre temperatura e calor, o conceito de calor muda de categoria ontológica e guarda uma relação apenas superficial com a idéia anterior de calor (não diferenciado da temperatura) relacionado à sensação de quente. Essa mudança de ontologia, analisada por Chi, não resulta, entretanto, numa distinção nítida dentro da sua categorização uma vez que, apesar de o calor não ser mais associado às sensações, ele ainda é relacionado às temperaturas altas e pode ser pensado como uma substância. No entanto, percebe-se que a idéia de calor adquire um estatuto mais científico e o seu tratamento através de medidas permite grandes avanços.

O uso do termômetro e a obtenção de contradições entre as medidas e as sensações mudam o tratamento dado ao conceito de calor. O experimentador encontra a mesma temperatura para todos os objetos em um ambiente e este resultado vai de encontro às noções do senso comum. Dessa forma, as sensações de quente e frio não mais poderão ser associadas à temperatura e surge a explicação: corpos quentes ou não-frios possuem calor, os frios não possuem (Barbosa Lima e Barros, 1997). A temperatura é vista pelos alunos como a medida de calor de um corpo e o calor associado às altas temperaturas (Silva, 1995).

As relações entre calor e temperatura encontradas nas idéias dos estudantes apontam para a influência da maneira como lidamos com o calor na vida cotidiana: dizemos que faz calor quando a temperatura está alta, o que pode provocar muitas vezes a identificação de um conceito com o outro. Quando os estudantes trabalham com a determinação de temperaturas utilizando o termômetro de laboratório e o termômetro clínico, eles são estimulados a pensar no funcionamento desses instrumentos, o que leva à idéia de equilíbrio térmico e de direção do fluxo do calor. Ao trabalhar com a sensação de quente e frio, os estudantes são estimulados a pensar que as sensações nem sempre correspondem a uma diferença real de temperatura, o que é explicado recorrendo-se a conceitos como condutividade térmica e calor específico (Mortimer e Amaral, 1998). Nesse sentido, vale salientar a distinção feita por Bachelard (1996) entre a experiência comum e a experiência

científica, onde a segunda contradiz a primeira. Segundo o autor, a experiência comum não é uma experiência construída e sim feita de observações justapostas, sendo imediata e usual. Ela desenvolve-se no reino das palavras e das definições, enquanto que a experiência científica está na perspectiva de retificar erros. É feita uma crítica à antiga epistemologia que estabeleceu um vínculo contínuo entre a observação e a experimentação, quando esta última deve afastar-se das condições usuais da primeira. Dessa forma são enfatizadas as diferenças entre as noções cotidianas do calor, a partir das sensações, que tratam calor e frio como atributos dos materiais, e a noção científica, na qual o calor depende da relação entre dois sistemas (Mortimer e Amaral, 1998).

A possibilidade de realizar medidas relacionadas à idéia de calor a partir da experimentação de caráter científico estabelece uma nova zona do perfil conceitual, a zona empírica. Ainda que persista a idéia do calor como substância, este não mais poderá ser relacionado às sensações porque estas contradizem a experimentação.

O calor proporcional à diferença de temperatura

Com o estabelecimento do conceito de calor específico e da idéia de fluxo de calor a partir da diferença de temperatura entre os corpos, constata-se que o calor não está diretamente relacionado à temperatura e sim à diferença de temperatura. O conceito de calor passa a ser pensado como uma relação entre grandezas, adquirindo assim um caráter racional. É necessário que se "esteja disposto a abandonar a simplificação e aceitar a complexidade", para alcançar o racionalismo. Este último está na percepção de uma relação entre calor e temperatura: a temperatura é uma propriedade de cada corpo e o calor surge em resposta a uma interação entre dois corpos de temperaturas diferentes. A visualização desse conceito poderá ser feita a partir de uma fonte térmica, onde poderão ser percebidos a produção e transporte de calor. O calor poderá ser visto como uma forma de energia que se manifesta a partir do contato entre dois corpos à temperaturas diferentes, fluindo do corpo de temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa, não necessariamente por contato, mas também por radiação (Barbosa Lima e Barros, 1997). O conceito de calor adquire um caráter mais dinâmico dentro de uma relação entre outras noções pertinentes ao fenômeno, saindo do realismo das coisas para o realismo das leis (Bachelard, 1978). Ainda não se pode fazer um vínculo desta visão mais racional com a aceitação da teoria mecânica do calor e abandono da idéia substancialista. Somente com os avanços da termodinâmica ficou estabelecida a teoria mecânica do calor.

A teoria do calórico não sofreu abalos nem com o advento da máquina a vapor, pois o dispositivo de James Watt (1736-1819) podia ser explicado razoavelmente pela teoria material do calor. A discussão em torno da natureza do calor sempre se fez presente no decorrer da história do desenvolvimento desse conceito e apesar da tendência substancialista se apresentar mais forte, um problema relativo a essa idéia era o fato de que nenhum experimento conseguia fazer medidas do peso da "substância" calor contido nos corpos. Experiências famosas foram realizadas na tentativa de determinar o peso de tal substância. Dentre elas, pode-se destacar aquelas realizadas por George Fordyce em 1785, para determinar se a água congelada apresentava mudança no seu peso, e por Sir Benjamin Thompson, conde de Rumford (1753-1814), que repetiu as experiências de Fordyce e apresentou um trabalho em 1799, concluindo que todas as tentativas de se observar efeitos do calor sobre o peso se mostraram inúteis. Essas experiências causaram um abalo significativo na teoria material do calor (Silva, 1995).

A aceitação da teoria mecânica do calor por Kelvin e Clausius foi decisiva para a elaboração dos princípios da Termodinâmica e para a superação da idéia do calor como substância. Segundo Laidler (1993), todo o desenvolvimento da termodinâmica foi inspirado no livro que Carnot escreveu sobre a performance de máquinas de calor. Nesse livro, Carnot considerava o calor como uma substância, o calórico, que era conservado quando fluía de uma temperatura mais alta para outra mais baixa, realizando trabalho. Kelvin retomou os trabalhos de Carnot, apresentando a idéia de que o calor não era um "fluido imponderável" e sim uma forma de energia que se convertia em uma outra, o trabalho mecânico. Ele aceitava a idéia defendida por Joule no encontro de Oxford, em

1847. Laidler ressalta que a natureza do calor foi um tema discutido no século XVII, com Francis Bacon, Boyle, Newton e outros seguidores, sendo considerado como uma forma de movimento, mas, no século XVIII, muitos acreditavam que o calor era uma substância, um fluido imponderável. Em 1840, Julius Robert Mayer (1814-1878) fez observações sobre a interconversão de calor e trabalho, considerando-os como diferentes formas de força indestrutíveis. Nessa mesma época, James Prescott Joule (1818-1899) começou suas investigações sobre a interconvenção do calor em trabalho a partir dos experimentos de eletrólise de Faraday e realizou experimentos cuidadosos, o que foi suficiente para despertar o interesse de Kelvin e fazê-lo aceitar as suas idéias. Em 1851, Kelvin apresentou um trabalho na Royal Society of Edinburg, fazendo referências a Mayer e Joule, que estabelecia a teoria dinâmica do calor e fazia a análise do tratamento de Carnot às máquinas térmicas, à luz dessa nova teoria (Laidler, 1993).

Uma vez aceita a teoria mecânica do calor e abandonada a idéia do calor como substância, foi possível o desenvolvimento das idéias de calor como energia relacionada aos movimentos das partículas e surgiram proposições matemáticas complexas relativas ao calor como uma forma de energia dissipativa, associada ao movimento molecular. A idéia da temperatura passou a ser associada à velocidade média das moléculas, podendo-se definir uma nova escala absoluta de temperatura, caracterizando avanços dentro do racionalismo. Numa evolução posterior, buscar-se-ia a descrição estatística dos conceitos, relacionando-se temperatura a uma determinada distribuição de níveis energéticos, e assim poderiam ser obtidas temperaturas menores do que o zero absoluto, sem qualquer associação sensória para esse valor. (Barbosa Lima e Barros, 1997).

Segundo Silva (1995), nas suas concepções espontâneas, os alunos apresentam a idéia de calor como processo interno resultante do atrito entre as partículas e fazem atribuição de propriedades macroscópicas às partículas. Erickson (1985) encontrou que alguns alunos, na faixa etária de 16 anos, descreveram o calor em termos de energia quando solicitados a dizer o que é o calor, através de sentenças.

A aceitação da teoria mecânica do calor representa uma mudança de categoria ontológica ao qual é referido o conceito. Segundo a categorização feita por Chi (1992), o calor pensado como substância pertence à categoria ontológica da matéria. Com a idéia de calor como forma de movimento ou energia, o conceito passa a pertencer à categoria de evento, dentro da categoria subordinada de evento limitado por lei. A idéia racionalista de calor constitui mais uma zona do perfil, e uma vez que a constituição histórica dessa zona não necessariamente coincidiu com a aceitação da teoria mecânica do calor, pode-se afirmar que nela podem ser encontrados dois compromissos ontológicos diferentes para o conceito de calor.

O perfil conceitual de calor

A noção de perfil conceitual, proposta por Mortimer (1995, 2000), pode ser usada para a estruturação das idéias relativas a um determinado conceito como também para descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como conseqüência do processo de ensino. O perfil conceitual toma por base a idéia de perfil epistemológico de Bachelard. Na sua *Filosofia do Não*, Bachelard (1978) apresenta a noção de perfil epistemológico a partir da idéia de que os conceitos encontram-se, no seu curso de desenvolvimento, mais ou menos presos a alguns pontos de vistas filosóficos (animista, realista, empirista, racionalista) dependendo do seu estágio de maturidade. O autor apresenta a dispersão das doutrinas filosóficas relativa a um conceito, esclarecendo que uma única filosofia esclarece apenas uma faceta do conceito. Ele chama a atenção para o pluralismo da cultura filosófica e lança a idéia de perfil epistemológico dos diversos conceitos como solução para essa dispersão. Por meio desse perfil poderia ser observada a ação efetiva das diversas filosofias na obra do conhecimento, sendo ele válido para um conceito particular e um espírito particular. Isto implica em dizer que “a evolução filosófica de um conhecimento científico particular é um movimento que atravessa todas estas doutrinas na ordem indicada” (Bachelard, 1978, p.11).

A noção de perfil conceitual compartilha algumas características com o perfil epistemológico, tais como a hierarquia entre diferentes zonas do perfil, sendo cada zona sucessiva caracterizada por conter categorias de análise com poder explanatório maior do que as anteriores. Outras características são distintas do perfil epistemológico: a diferenciação entre as zonas a partir também dos aspectos ontológicos do conceito e a importância dada à tomada de consciência, pelo estudante, do seu próprio perfil. Dessa forma, a aprendizagem é vista como a construção de novas zonas num perfil conceitual, que não necessariamente implicam num abandono de concepções pertencentes a outras zonas, mas a consciência das relações entre essas diferentes zonas conceituais e a identificação de contextos em que uma e outra zona pode ser aplicada. Trabalhar com a noção de perfil conceitual também auxilia a perceber como certas características de uma zona conceitual podem representar obstáculos epistemológicos e ontológicos para a construção de zonas mais avançadas.

O perfil conceitual toma por base a idéia de que as pessoas podem exibir diferentes formas de ver e representar a realidade a sua volta e que a construção de novas idéias possa ocorrer independentemente das idéias prévias. Cada uma das zonas no perfil pode estar relacionada com uma perspectiva filosófica específica, baseada em diferentes compromissos epistemológicos e características ontológicas também distintas. Em outras palavras, as zonas no perfil podem estar relacionadas com uma forma de pensar e com um certo domínio ou contexto a que essa forma se aplica. A altura de cada zona no perfil representa de forma qualitativa a influência de uma determinada característica do conceito no perfil como um todo. As zonas do perfil conceitual, nos níveis pré-científicos, são determinadas pelos compromissos epistemológicos e ontológicos dos indivíduos. Os resultados da pesquisa em concepções alternativas das crianças e adolescentes são uma fonte importante para a determinação dessas zonas pré-científicas. No contexto da educação científica, apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado, dentro de uma mesma cultura, são as mesmas para cada conceito. A história das idéias científicas, como mostrado neste trabalho, pode ser usada para determinar tanto as zonas científicas como as pré-científicas (Mortimer, 1996).

Mortimer (1995) aplicou a noção de perfil conceitual a dois conceitos relacionados à teoria da matéria: a concepção atomística e os estados físicos. Nesses trabalhos, o autor analisou os obstáculos surgidos a partir de cada zona do perfil que foi estabelecida. A partir da análise feita para as idéias de calor, no presente trabalho, pode-se propor um perfil conceitual de calor constituído de cinco zonas: realista, animista, substancialista, empírica e racionalista. A zona realista diz respeito à idéia de calor vinculada estritamente às sensações sem que seja feita uma reflexão sobre a sua natureza. Nesse sentido, pode existir a tendência de se fazer elaborações superficiais que não ultrapassam as sensações. Encontram-se, nesta zona, as idéias do senso comum, relativas ao calor e à temperatura. A zona animista representa a idéia do calor como substância viva ou capaz de constituir a vida, imbuída de uma força motora inerente podendo ainda ser associada à idéia de que os objetos ou materiais possuem vontade de dar ou receber calor. Apesar desta visão ter sido superada no século XIX, ainda pode ser encontrada em determinados contextos, inclusive escolares. Na zona substancialista, o calor é considerado uma substância que pode penetrar outros materiais, sendo essa uma idéia que vai estar presente até meados do século XIX entre os cientistas e pode ser freqüentemente observada em contextos didáticos, mesmo que seu uso não seja consciente. Como destacado anteriormente, a visão substancialista representa um forte obstáculo e muitos dos avanços científicos não foram suficientes para a sua superação. A zona empírica está relacionada com o desenvolvimento do termômetro que proporciona condições para realização de experimentos onde o calor poderia ser medido. As experimentações mostram divergências entre o calor e as sensações, permitindo a elaboração do conceito de calor específico e que seja feita a diferenciação entre calor e temperatura. Na zona racionalista, o conceito de calor é pensado como uma relação entre a diferença de temperatura e o calor específico, constituindo-se num "corpo de noções e já não apenas como um elemento primitivo de uma experiência imediata" (Bachelard, 1978). A zona racionalista do perfil conceitual poderá ser desdobrada em outras zonas para diferentes níveis do racionalismo, o que constitui a proposta de continuidade para este trabalho.

Considerações finais

A noção de perfil conceitual permite descrever o processo de formação de conceitos, em salas de aula de ciências, numa forma que é coerente com a idéia de que diferentes pontos de vista podem ser complementares. Uma das investigações que essa noção sugere, e que estamos desenvolvendo como desdobramento a este trabalho, é a busca de relações entre esses diferentes modos de pensar e as diferentes forma de falar, caracterizados pelo uso de diferentes gêneros de fala, de diferentes linguagens sociais (Bakhtin, 1997). A noção de “heterogeneidade apesar da hierarquia genética”, discutida por Wertsch (1991), pode nos ajudar a organizar um perfil conceitual sustentado na idéia de complementaridade. O fenômeno de heterogeneidade está relacionado com a idéia geral de que, em nenhuma cultura ou indivíduo, existe uma única forma homogênea de pensar, mas diferentes tipos de pensamento verbal (Tulviste, 1991).

A heterogeneidade apesar da hierarquia genética assume que diferentes formas de pensamento podem ser ordenadas geneticamente (no sentido de desenvolvimento ou gênese), mas as últimas formas não são necessariamente mais poderosas. Segundo Wertsch "esta posição (...) pode ser resumida dizendo que, embora algumas formas de funcionamento emirjam mais tardiamente que outras, elas não são inerentemente melhores." (Wertsch, 1991, p. 97). A persistência de formas substancialistas de falar sobre o calor, mesmo nos textos didáticos ou entre pessoas com cultura tecnológica, como já tivemos oportunidade de comentar, demonstra que a zona racionalista do perfil de calor, embora tenha emergido mais tarde e permita uma visão crítica das outras zonas, não é inerentemente melhor ou mais poderosa do que estas, uma vez que em certos contextos, essas zonas geneticamente “inferiores” funcionam melhor do que a zona racional. O importante, no ensino do conceito de calor tendo por base a noção de perfil conceitual, é que os estudantes tomem consciência dessas diferentes zonas, dos contextos de aplicação de cada uma delas, e das relações entre elas. Embora podendo criticar as formas de pensar e falar realista, animista e substancialista, o estudante não necessariamente vai abandoná-las, pois em vários contextos cotidianos, essas são as formas de falar ligadas ao senso comum, que permitem a comunicação efetiva entre pessoas não especializadas.

Cada zona em um perfil conceitual oferece uma maneira de olhar o mundo que é única e diferente das outras zonas. É como se olhássemos o mundo através de uma lente que mostra a realidade inteira de uma maneira específica. Cada zona conceitual corresponde a diferentes formas de mediação, a diferentes teorias e linguagens, que traduzem o mundo em suas próprias formas. A realidade em si mesma não pode ser entendida inteiramente a partir de uma única perspectiva porque só uma visão complementar pode produzir um quadro completo.

As noções bakhtinianas de gêneros de fala e de linguagens sociais podem nos ajudar a relacionar diferentes zonas de um perfil conceitual com diferentes formas de falar. Ao discutir o que denomina “heteroglossia da linguagem”, Bakhtin afirma que uma linguagem nacional não é única, mas está composta de várias linguagens sociais diferentes, as quais “são pontos de vista específicos sobre o mundo, formas de conceitualizar o mundo em palavras, perspectivas específicas do mundo, cada uma caracterizada por seus próprios objetos, significados e valores. Como tal, todas elas podem ser justapostas umas as outras, suplementar-se mutuamente e co-existir na consciência das pessoas reais” (Bakhtin, 1981, p. 292).

Em situações de ensino, o que se pode observar é que um mesmo aluno pode apresentar mais de uma forma de pensar sobre o calor, dependendo da situação ou contexto a que ele se refere, nem sempre apresentadas com limites bem estabelecidos, como este trabalho pode sugerir. A geração de novos significados em salas de aula de ciências é considerada a partir das relações entre esses modos de pensar e formas de falar, onde diferentes modos de pensar estão entrelaçados a diferentes formas de falar. Na dinâmica da sala de aula, as palavras ganham sentidos diferentes quando empregadas em, ou advindas de, contextos diferentes. O estudo das idéias dos alunos em sala de aula poderá ser feito a partir da identificação do contexto de produção das idéias, levando

em conta as diferentes maneiras de falar vinculadas a diferentes contextos e zonas do perfil conceitual.

Referências

- ALBERT, E. Development of Concept of Heat in Children. *Science Education*, 62(3):389-399. 1978.
- BACHELARD, G. *A Filosofia do Não*. Coleção Os Pensadores. Editora Abril Cultural: São Paulo. 1978.
- BACHELARD, G. *A Formação do Espírito Científico* (trad. Estela dos Santos Abreu). Contraponto Editora : Rio de Janeiro. 1996.
- BAKHTIN, M.M. (1981) *The dialogic imagination*, ed. by Michael Holquist, Austin: University of Texas Press.
- BAKHTIN, Mikhail. *Estética da Criação Verbal*. Trad. Maria Ermantina G. G. Pereira. São Paulo: Martins e Fontes, 1997.
- BARBOSA LIMA, M. C. e LINS DE BARROS, H. Uma proposta de ensino de calor e temperatura à luz de Bachelard. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, p. 315-321. 1997.
- BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (5) : 569-581. 1998.
- BRUNO, G. *Acerca do Infinito, do Universo e dos Mundos*. (trad. A. Montenegro). Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa. 1584/1984.
- BROOK, A.; BRIGGS, H.; BELL, B. E DRIVER, R. *Aspects of Secondary Students' Understanding of Heat: Summary Report*. (Projeto CLIS - Children's Learning in Science Project) Publicação da University of Leeds. 1984.
- CERVANTES, A. Los Conceptos de Calor y Temperatura: Una revision Bibliografica. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(1):66-70. 1987.
- CHI, M. T. H. Conceptual Change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In Giere, R. N (ed.). *Cognitive Models of Science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, XV. University of Minnesota Press: Minneapolis. 1992.
- COHEN, I. e BEN-ZVI, R. Improving student achievement in the topic of chemical energy by implemeting new learning materials and strategies. *International Journal of Science Education*, 14, 147-156. 1992.
- CROMBIE, A.C. *Historia de la Ciencia: de San Agustin a Galileu*. 2 v. (trad. J. Bernia. Madrid: Alianza Editorial. 1985.
- CURVIER, G. *Histoire des Sciences naturelles depuis leurs origines jusqu'à nos jours*. Paris 5v., v.4. p.321. 1844-1845.
- DUIT, R. Learning the energy concept in school – empirical results from the Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19, p. 59-66. 1984.
- ERICKSON, G. Heat and Temperature – part A: An overview of pupils' ideas. In Drive, R.; Guesne, E. e Tiberghien, A. (eds.) *Children's Ideas in Science*. Open University Press: Milton Keynes – Philadelphia. 1985.
- GILBERT, J. e POPE, M. Small group discussions about conceptions in science: A case study. *Research in Science and Technological Education*, 4, 61-76. 1986.
- GUAYDIER, P. *História da Física* (trad. A. M. Gonçalves). Lisboa: Edições 70. 1984.
- HOPPE, E. *Histoire de la Pysique* (trad. H. Besson). Paris: Payot. 1928.
- LAILLER, K. J. *The World of Physical Chemistry*. New York: Oxford University Press Inc.. 1993.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4(3): 267- 285. 1995.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e o ensino de ciências: para onde vamos? *Investigações em Ensino de Ciências*, 1:20-39. 1996.

- MORTIMER, E. F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. *Química Nova*, 20 (2). 1997.
- MORTIMER, E. F. e AMARAL, L. O. F. Quanto mais quente melhor: calor e temperatura no ensino de termoquímica. *Química Nova na Escola*, 7, p.34. 1998.
- MORTIMER, E. F. *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Editora UFMG: Belo Horizonte. 2000.
- NICOLAS DE LOCQUES . *Les Rudiments de l philosophie naturelle touchant le système du corps mixte*. Cours théorique, v. 1; Cours pratique, v. 2. Paris, 1665.
- OGBORN, J. Energy, change, difference and danger. *School Science Review*, 72, p.81-85. 1990.
- PRIESTLEY. *Histoire de l'électricité*. Trad. Paris, 3v., v.1. 1771.
- SCHURMANN, P. F. *Luz y Calor*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina Ed.,. 1946.
- SILVA, D. Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Educação-USP. 1995.
- TULVISTE, P. (1991) *The Cultural-Historical Development of Verbal Thinking*. Trans. by Hall, M.J. Commak, NY: Nova Science.
- VIDAL, B. *História da Química*. Edições 70: Lisboa. 1986.
- WERTSCH, J.V. (1998) *Mind as action*. New York, Oxford University Press.