

CINDRA, José Lourenço; TEIXEIRA, Odete Pacubi Baierl. Calor e temperatura e suas explicações por intermédio de um enfoque histórico. In: MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. C., P.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (eds.). *Filosofia e história da ciência no Cone Sul: 3º Encontro*. Campinas: AFHIC, 2004. Pp. 240-248. (ISBN 85-904198-1-9)

CALOR E TEMPERATURA E SUAS EXPLICAÇÕES POR INTERMÉDIO DE UM ENFOQUE HISTÓRICO

José Lourenço Cindra;
Odete Pacubi Baierl Teixeira*

Resumo – No presente trabalho procuramos discutir a categorização das explicações realizadas por Halbwachs relacionando-a com o desenvolvimento histórico dos conceitos de calor e temperatura. Identificamos e discutimos as explicações homogênea, heterogênea e batígena no contexto histórico destes conceitos. Verificamos que as explicações utilizadas pelos cientistas para formularem teorias do calor e da temperatura, de modo geral, refletem os tipos de explicações indicadas por Halbwachs. Constatamos, por exemplo, que o conceito de temperatura, que no início ainda não havia se separado do conceito de calor, foi aos poucos se estabelecendo como uma grandeza física fenomenológica. Uma espécie de explicação homogênea era suficiente para conceituá-la, e o mesmo pode ser dito no que tange ao conceito de calor. Posteriormente, à medida em que houve um aprofundamento na compreensão dos fenômenos térmicos, todo o enfoque conceitual da questão caminhou no sentido de uma explicação mais profunda, por isso, podemos afirmar que os cientistas passaram a fazer uso de explicações batígenas para o de temperatura. A grandeza entropia, que inicialmente foi introduzida por Clausius como uma grandeza fenomenológica, aceitava também explicação homogênea. Contudo, no enfoque de Boltzmann, que procurou dar um tratamento estatístico para a entropia, houve a introdução de uma explicação batígena.

1 UMA DISCUSSÃO SOBRE A HISTÓRIA DA EXPLICAÇÃO EM FÍSICA

A palavra ‘explicação’ admite diferentes conceituações, e se nos ativermos às explicações relacionadas ao âmbito do conhecimento científico poderemos verificar que vários pesquisadores – tais como, Kuhn, Lakatos, Bachelard, Piaget, dentre outros – procuraram dar diferentes enfoques,

* Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Guaratinguetá, SP, Brasil. E-mail: jlcindra@uol.com.br; opbt@feg.unesp.br.

originando várias abordagens que permeiam planos filosóficos, psicológicos e epistemológicos. Assim muitas são as vertentes da questão e cada uma delas procura atribuir significados, muitas vezes, distintos para o conceito de explicação, porém qualquer que seja a vertente enfocada, em todas parece haver um consenso sobre a importância deste conceito para o conhecimento científico.

Especificamente, neste trabalho, optamos por discutir a concepção de explicação de Halbwachs, tendo em vista a análise por ele realizada, relacionando as diversas teorias científicas que surgiram ao longo da história com os tipos de explicações correspondentes.

Halbwachs (1974, 1977) discute a questão da evolução do conceito de causalidade em física, enfatizando que modos diferentes de ver a causalidade correspondiam a tipos diferentes de explicações da realidade. Segundo esta interpretação, épocas diferentes da história da física estiveram sob a égide de diferentes esquemas explicativos, podendo ser distinguidas três tipos de explicações predominantes que se sucederam na História da Ciência: explicação heterogênea, explicação homogênea e explicação batígena.

A explicação heterogênea, segundo Halbwachs, é característica da fase que vai de 1660 a 1830, coincidindo essencialmente com o período de formação e desenvolvimento da física newtoniana. Neste tipo de explicação há, em geral, um agente e um paciente, uma causa e um efeito. A primeira fase deste período, ainda sob o domínio da física cartesiana, apresenta uma interpretação em termos de choques, contato ou pressão de partículas. A segunda fase deste período acentua mais o caráter heterogêneo das explicações, postulando uma ação à distância, existindo uma intervenção exterior sobre o sistema.

A explicação homogênea tem um caráter formal, analisa os fenômenos do ponto de vista de algumas propriedades intrínsecas, sem recorrer a agentes externos. A 'natureza' do objeto já parece ser uma explicação satisfatória. Exemplo típico é a filosofia natural de Aristóteles. Segundo esta maneira de ver as coisas, determinado comportamento de um corpo é explicado pelas 'naturezas' do corpo. Exemplo: se um corpo cai em direção ao centro da Terra é porque assim exige sua 'natureza'. Se um corpo tem tendência a subir é também porque sua 'natureza' assim exige. Halbwachs comenta que, com algumas alterações, este tipo de explicação predominou até a época de Galileu, inclusive. De fato, na obra de Galileu é freqüente a tendência a raciocinar em termos de simetrias dos objetos e processos estudados por ele. Isso parece constituir um tipo de explicação homogênea.

Seria interessante salientar que em meados do século XIX há o aparecimento de um tipo de explicação bastante *sui generis*, que se baseia no emprego generalizado das equações diferenciais em derivadas parciais. Seria então uma espécie de volta às explicações homogêneas? Kuhn considera este tipo de explicação como sendo um retorno à 'causa formal' de Aristóteles, ou dito de outro modo, à causalidade homogênea, em que de novo se perde a distinção nítida entre causa e efeito. As simetrias e os invariantes dessas equações diferenciais determinam os possíveis resultados a serem observados.

Por outro lado, Halbwachs sugere que neste caso não se trata de uma simples volta à causalidade homogênea do tipo aristotélico e da física do Renascimento, porque não seriam as próprias equações diferenciais que descrevem diretamente o comportamento do sistema, como fazem as 'naturezas' de Aristóteles. A equação só fornece a condição causal do sistema. É a solução da equação que descreve o que se passa efetivamente. Além disso, as condições iniciais e as condições de contorno desempenham um papel muito importante. Estamos, portanto, em presença de um tipo de causalidade bastante *sui generis*. Não há propriamente dito o abandono da causalidade heterogênea sob a forma de 'causalidade limitada', mas sim a construção de uma causalidade recíproca ou dialética. Protótipo desta causalidade dialética são as equações de Maxwell, em que a variação espacial do campo elétrico provoca uma variação temporal do campo magnético e vice-versa.

A explicação batígena (de *bathus*, profundo em grego), apareceu no período pré-socrático e seria aquela que procura explicar a realidade por meio de estruturas subjacentes, considerando níveis de esquematização bastante profundo utilizando um grande número de variáveis. Na explicação batígena

é como se o complexo visível, o mundo macroscópico, fosse explicado por elementos simples invisíveis, os átomos ou outras estruturas microscópicas. Halbwachs ressalta que este tipo de explicação não é exaustivo, pois em qualquer nível de explicação batígena fica sem explicação o nível inferior. Se for explicada a realidade por meio de átomos, ainda falta explicar estes átomos. Se forem explicados os átomos em termos de partículas subatômicas, ficam ainda sem explicação estas partículas, e assim por diante.

Halbwachs ainda acrescenta que a divisão do mundo físico em níveis distintos pode ser considerada uma heterogeneidade de outra ordem, de uma ordem ainda mais fundamental que sua divisão em sistemas distintos em interação.

2 UMA DISCUSSÃO SOBRE EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS CONCEITOS DE CALOR E TEMPERATURA

Os pré-socráticos, Anaximandro, Heráclito e Empédocles, e até mesmo Platão e Aristóteles, tinham ainda noções vagas quanto à natureza do calor. Platão aceitava o calor como algo, muito próximo ao elemento fogo. O calor estava associado aos corpúsculos do elemento fogo. Aristóteles concebia o frio e o quente como duas das quatro qualidades primárias da matéria, ao lado do seco e do úmido.

No século XIII, Roger Bacon (1214-1294) afirmava que a causa do calor era o movimento interno das partículas do corpo, porém não sabemos se é o calor que é movimento ou se o movimento é que produz o calor. Johannes Kepler (1571-1630) compartilhava das idéias de Bacon. Galileu Galilei (1564- 1642), assim como Telesius (1504-1588), considerava o calor como uma espécie de fluido. Segundo Galileu:

[...] o fogo pode ser produzido por muitos meios, entre os quais o atrito e a fricção de dois corpos sólidos; e já que este atrito não pode ser produzido por corpos sutis e fluidos, afirmo que os cometas e os relâmpagos, as estrelas cadentes, e também as chamas dos cemitérios, não pegam fogo pelo atrito nem do ar, nem dos ventos, nem das exalações, pelo contrário, cada um destes incêndios é produzido na maioria das vezes nas maiores calmarias. (GALILEU, 1996, p. 214).

Afirmo que sou levado a acreditar que o calor seja um fenômeno que não tem existência por si mesmo, não possui outra existência a não ser em nós. Aquelas matérias que produzem e fazem perceber o calor em nós, matérias que nós chamamos com o nome geral de fogo, sejam uma multidão de pequeníssimos corpos, com determinadas figuras, movimentados com velocidade enorme. Estes pequenos corpos encontram nosso corpo e o penetram com sua maior sutileza, o contato deles, realizado na passagem através de nossa substância e percebido por nós, resulta ser aquilo que nós chamamos calor. (GALILEU, 1996, p. 222).

Até por volta do início do século XVII, podemos constatar a existência de duas correntes que procuravam explicar o calor: uma associada à idéia de fluído e outra que o considerava como movimento das partículas do corpo.

Contudo, não havia um consenso quanto à validade de cada uma delas. Esse fato pode ser explicado porque até então não se tinha constatado a necessidade de tratar o calor do ponto de vista quantitativo.

Durante este período, parece não ter existido uma preocupação em estabelecer uma diferenciação entre os conceitos de calor e temperatura. No entanto a utilização dos primeiros termômetros

contribuía para o estabelecimento dessa diferenciação.

Os aperfeiçoamentos nos termômetros, realizados por Fahrenheit (1686-1736), fazem com que a precisão das medidas seja melhorada. O refinamento da técnica de construção de termômetro permitiu o entendimento de vários aspectos relacionados às propriedades térmicas dos materiais.

No tocante às medidas de graus de calor, parecia haver uma linearidade entre calor fornecido a um corpo e a variação do grau de calor (variação de temperatura), indicada pela dilatação aparentemente regular de determinado corpo. Aceitava-se que as quantidades de calor requeridas para aumentar o calor de diferentes corpos em um mesmo número de grau seriam diretamente proporcionais à quantidade de matéria nesses corpos. Posteriormente, Boerhaave (1668-1738) e Musschenbroeck (1632-1761) concluíram indevidamente que o calor se distribuía uniformemente entre os corpos em equilíbrio térmico, ou seja, o calor recebido por um corpo era simplesmente proporcional ao seu volume. Embora o conceito de temperatura já tivesse sido introduzido por Samuel Klingestjerna (1698-1765), que em 1729 formulou a hipótese que havia diferença entre grau e quantidade de calor (HOPPE, 1928, p. 246). Entretanto, esta diferenciação somente foi satisfatoriamente esclarecida por Black, por volta de 1760.

2.1 O estabelecimento e a sistematização do conceito de temperatura

2.1.1 O conceito de equilíbrio térmico

Introduzir a grandeza física ‘temperatura’ pressupõe a existência de *equilíbrio térmico*. Dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico se não há fluxo de calor entre eles e, portanto estarão a mesma temperatura.

O conceito de equilíbrio térmico permite estabelecer a Lei Zero da Termodinâmica. Esta lei afirma o seguinte:

Se um corpo A estiver em equilíbrio térmico com um corpo B, e este mesmo corpo A estiver em equilíbrio térmico com o corpo C, então o corpo B também estará em equilíbrio térmico com o corpo C.

Esta lei nada mais é do que uma asserção de que deve existir a temperatura, tomada como uma grandeza intensiva, relacionada com o calor, e que pode ser indicada pela variação de determinadas propriedades termométricas das substâncias.

2.1.2 A Abordagem cinético-molecular

Na abordagem cinético-molecular, a temperatura é considerada como uma grandeza proporcional à energia cinética média das moléculas. Esta temperatura é chamada de *absoluta* pelo fato de não depender de propriedades específicas das substâncias.

Matematicamente:

$$T = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{3k}$$

No século XVIII Jacques Charles e Guillaume Amontons (1663-1705) e, por volta de 1800, também Gay-Lussac, com base em vários experimentos, verificaram uma proporcionalidade entre volume e temperatura, à pressão constante: $V \propto T$

Combinando as duas expressões chegamos que:

$$pV = rT$$

Bernoulli (1738) apresentou um modelo cinético dos gases, que foi praticamente ignorado, por dois motivos: o fato de ainda não haver meios adequados para determinar os valores das velocidades médias das partículas de um gás e a predominância de um modelo estático dos gases.

Uma teoria semelhante à de Bernoulli, porém muito mais elaborada, foi proposta por John Herapath (1790 – 1868), em um trabalho publicado em 1836, chegando à expressão matemática:

$$p = (1/3)\rho v^2$$

onde v é a velocidade das partículas e ρ a densidade do gás.

John James Waterston, em um trabalho apresentado à *Royal Society* de Londres, em 1845, também apresentava argumentos a favor da teoria cinético-molecular. Descrevendo um modelo de gás em que as moléculas estavam em movimento de translação, chegou à conclusão que a cada grau de liberdade correspondia a energia $kT/2$. Infelizmente, este trabalho foi recusado para publicação, com base em dois pareceres desfavoráveis dados por dois especialistas da *Royal Society* (JAMMER, 1967, cap. 1, § 2).

Foi somente na década de 50 do século XIX que a teoria cinética começou a ser estabelecida em bases firmes.

A distribuição das velocidades das moléculas de um gás ideal foi obtida por Maxwell em 1860, permitindo assim introduzir uma velocidade média quadrática na expressão acima.

Com relação à expressão matemática (1), podemos verificar que a temperatura definida assume somente valores positivos, pois o valor médio dos quadrados das distintas velocidades das partículas será sempre positivo. Ela representa apenas uma medida da energia cinética média, associada ao movimento de translação das partículas, porque as partículas podem ter outros tipos de energia cinética, como por exemplo, de rotação ou de vibração. Entretanto, segundo este modelo, somente a energia cinética de translação contribui para a definição de temperatura.

Esta temperatura é a mesma temperatura medida, segundo a escala absoluta de temperatura, a escala Kelvin, proposta em 1848 por William Thomson, futuro Lorde Kelvin, e desenvolvida por ele mesmo em um artigo apresentado em 1851.

Algumas características da abordagem cinético-molecular para a temperatura:

- É definida independentemente do movimento do sistema em relação ao observador;
- Possui caráter essencialmente estatístico – não tem sentido se referir à temperatura de uma ou de poucas partículas;
- Assume somente valores positivos; e,
- Depende da energia cinética média de translação das partículas.

2.1.3 O conceito de entropia e a definição termodinâmica

Um conceito importante que também contribuiu para que fosse apresentada uma nova abordagem do conceito de temperatura foi a entropia. A inspiração para o surgimento do conceito de entropia já estava presente no trabalho de Carnot, em 1824, no qual está implícita a igualdade entre as relações envolvendo as temperaturas da fonte quente e da fonte fria e o calor retirado e o calor cedido, respectivamente:

$$Q_1 / T_1 = Q_2 / T_2.$$

Ressaltamos que Carnot entendia que havia conservação do calor, porém com a re-interpretação de seu trabalho, leva a entender não a conservação do calor, mas a conservação da proporcionalidade Q/T . Portanto parece haver uma analogia entre a esta igualdade e uma lei de conservação.

Clausius, prestando atenção nesta analogia, em 1854 introduz o conceito de *valor de equivalência* de uma transformação térmica, que era medido pela relação entre a quantidade de calor ΔQ e a temperatura T na qual ocorre a transformação. É com base neste conceito físico que ele faz a distinção entre processo reversível e processo irreversível. Em 1865, Clausius introduz uma função de estado, chamada entropia (do grego, significando transformação), representa por S , e dada pela expressão:

$$dS = dQ/T .$$

Como, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, $dE = dQ + dW$, na expressão acima, substituindo dQ por TdS , chegamos á expressão:

$$dE = T dS + dW$$

Como o trabalho elementar dW implica uma variação de volume, se o volume é constante temos:

$$T = (\partial E / \partial S)_V$$

A expressão acima é denominada definição termodinâmica da temperatura. Nota-se que esta definição de temperatura tem a vantagem de não depender de propriedades particulares dos termômetros usados para medi-la. Por outro lado, considerando que a entropia S , em geral, é função da energia interna E e do volume V , então quando é fornecido calor a um corpo, além do aumento da energia interna, pode haver variação do volume do corpo. No entanto, se o objetivo é definir a temperatura, segundo as grandezas termodinâmicas de um único corpo, é necessário considerar o volume desse corpo constante.

Boltzmann generalizou estas características da distribuição de Maxwell para sistemas arbitrariamente grandes. Ele mostrou que o número de estados possíveis para uma dada energia é muito maior para valores macroscópicos correspondendo ao equilíbrio térmico. Boltzmann provou que a entropia termodinâmica S de um sistema (a uma dada energia E) era relacionada ao número W de estados microscópicos possíveis por meio de $S = k \ln W$, onde k é a constante de Boltzmann. A seguir, ele foi capaz de estabelecer que para qualquer sistema grande ou pequeno em equilíbrio térmico a temperatura T , a probabilidade de se encontrar um estado a uma energia particular E é proporcional a $e^{-E/kT}$. Ela é chamada de distribuição de Boltzmann.

Algumas características da abordagem termodinâmica:

- Está diretamente relacionado ao calor e à entropia;
- Não precisa ser conhecida a estrutura interna do sistema; e,
- Pequenos acréscimos da energia interna, para baixas temperaturas, provocam grandes aumentos de entropia.

2.1.4 A abordagem estatística

Há uma outra forma de se considerar a temperatura. Trata-se de uma abordagem estatística, que nos dá uma visão mais realista do comportamento das partículas. Isso, porque se pode apresentar uma interpretação por meio da distribuição de partículas segundo a energia.

Matematicamente,

$$T = \frac{E}{k \cdot \ln(N_1 / N_2)}$$

Nesta fórmula, N_1/N_2 é a fração das partículas que se encontram no estado caracterizado pela energia E , sendo que N_1 é o número de partículas em um estado com certa energia inicial a partir do qual é tomada a contagem da energia E . Assim, pode-se verificar que quanto maior for o valor de E , maior será a fração das partículas N_1/N_2 , sendo k a constante de Boltzmann (OGBORN, 1976).

Se considerarmos $N_1=N_2$, teremos a temperatura infinita. Este fato, na realidade, não acontece, pois para um sistema clássico, a temperatura, deve ser uma grandeza positiva e finita, portanto N_1 é sempre maior do que N_2 . Por outro lado, afirma-se que para sistema quântico seria possível uma situação em que N_1 fosse menor que N_2 . Neste caso ter-se-ia uma temperatura negativa (ATKINS, 1984; KIKOIN, 1976, p. 302- 306).

Algumas características da abordagem estatística:

- Baseia-se na distribuição das partículas segundo as suas energias;
- Em princípio, permite a existência de temperaturas negativas; e,
- Permite uma grande abrangência de valores para a temperatura, variando de $-\infty$ a $+\infty$.

3 AS TEORIAS DO CALOR E TEMPERATURA E SUAS EXPLICAÇÕES

Partindo dos três tipos elementares de explicações: homogênea, heterogênea e batígena, nosso objetivo é estabelecer uma análise procurando relacionar os três diferentes tipos de explicações com a evolução histórica dos conceitos de calor e temperatura.

Iniciaremos a análise durante o período pré-socrático, no qual, segundo Halbwachs, há um predomínio das explicações tipo batígena. Verificando as concepções dessa época nos parece que para o calor não havia uma preocupação com esse tipo de explicação, porque o calor propriamente dito não era ainda assunto de especulações filosóficas.

Tacitamente, a explicação batígena surge com Platão, na medida em que sugere uma interpretação do calor que o relacionava com as partículas do corpo que se separavam em virtude da penetração do fogo, e ainda que estabelecendo um modelo primitivo, verifica-se um certo grau de esquematização do fenômeno.

Ainda que Halbwachs classifique o período da Idade Média e o do Renascimento como predominantemente de explicações homogêneas, no tocante ao calor, podemos perceber que Roger Bacon, e mesmo Galileu, expressavam idéias com características batígenas. Uma comprovação desse fato é que Galileu afirma que a causa do calor é uma multidão de pequeníssimos corpos movimentados com enorme velocidade.

Já no que diz respeito às técnicas de calibração dos termômetros, ou seja, num período que começa por volta do século XVII, os especialistas perceberam que a pressão atmosférica afetava a posição do ponto de ebulição da água. O fato havia sido observado por Fahrenheit e confirmado por Celsius em uma série de experimentos. Estes e outros efeitos semelhantes, que mostravam uma dependência funcional de variáveis, podem ser vistos como aspectos das explicações do tipo heterogêneas.

No século XIX começa a ser elaborada a teoria atômica. Segundo Halbwachs, Kuhn vê nesta teoria um retorno à causa formal. Halbwachs, contrariamente, afirma que a teoria atômica representa um caso especial de *explicação heterogênea*. Não se trata de interações entre sistemas distintos, mas sim de uma explicação que recorre a um nível subjacente da realidade para explicar fenômenos desta mesma realidade. Os fenômenos de uma escala são explicados por fatores de uma escala inferior.

Na teoria atômica moderna parece haver uma volta às explicações batígenas. A teoria atômica, desde a época de Dalton e de Boltzmann, não pretende explicar as propriedades dos átomos, mas sim explicar as propriedades dos corpos de nossa escala a partir de uma estrutura atômica subjacente.

As diversas teorias substancialistas do calor, e até certo ponto, mesmo as teorias do calor-movimento, podem ser consideradas tipos diferentes de explicações batígenas. Por outro lado, o tratamento dado à questão do rendimento das máquinas térmicas por Sadi Carnot, embora baseado

numa visão substancialista do calor, mostrou que o ponto essencial da questão era as trocas de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes. Segundo o Princípio de Carnot:

A potência motriz do calor é independente dos agentes que trabalham para realizá-la; sua quantidade é fixada unicamente pelas temperaturas dos corpos entre os quais se faz o transporte do calórico. (ROSMORDUC, 1988, p. 124).

O trabalho de Fourier intitulado *Teoria analítica do calor* (*Théorie analytique de la chaleur*, 1822) que tratava da condutividade do calor, como os historiadores da ciência ressaltam, não fazia nenhuma hipótese sobre a natureza do calor. Poderíamos então afirmar que, tanto no caso de Carnot como de Fourier, estamos em presença de um tipo de explicação homogênea.

Quanto ao trabalho de Mayer, que basicamente aborda a lei da conservação e da transformação da energia, notamos que a motivação do autor foi estabelecer uma equivalência entre diversas causas, partindo do pressuposto que, assim como há conservação das substâncias, deve também existir uma conservação das causas (conservação da força): uma força, uma vez em existência, não pode ser aniquilada, ela pode apenas mudar de forma (MAGIE, p. 200). Estamos em presença de um tipo específico de explicação heterogênea? Aparentemente, sim.

Como fica esta questão no contexto da primeira lei da termodinâmica? Parece-nos que se pode afirmar que, com o conceito unificador da lei da conservação e transformação da energia, estamos em presença de um tipo de explicação homogênea. O aspecto fenomenológico da questão dispensa qualquer tipo de explicação batígena. O mesmo ocorre com a segunda lei da termodinâmica. O conceito de entropia como função de estado se coaduna bem com o esquema conceitual das explicações homogêneas.

Por outro lado, as interpretações estatísticas da temperatura e da entropia nos levam a uma abordagem da questão que concorda plenamente com o espírito das explicações do tipo batígena.

Neste sentido, Cardenas e Ragout de Lozano (1996), apontam que uma das dificuldades encontradas na aprendizagem da termodinâmica reside no fato de que a maioria dos textos básicos, utilizados nos cursos de formação universitária, tende para uma descrição macroscópica dos fenômenos térmicos, que se baseia nos conceitos de pressão, volume, temperatura, energia interna, etc., apresentando, portanto, características relacionadas à explicação homogênea. Deste modo, para a maioria dos alunos, o conhecimento dos processos termodinâmicos se reduz a um manejo automático de relações funcionais entre variáveis, sem a compreensão da natureza das transformações que ocorrem nos sistemas físicos. Segundo estes autores, as explicações do tipo batígenas parecem ser as que mais satisfazem os estudantes, e às vezes é o melhor recurso para que a aprendizagem dos conteúdos seja significativa. Por isso, seria aconselhável que os professores utilizassem esta abordagem, sobretudo nos cursos básicos universitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, P. W. *The second law*. New York: W. H. Freeman and Company, 1984.
- BARNES, Jonathan. *Filósofos pré-socráticos*. Trad. J. Fischer. São Paulo: Martins Fontes, 1997.
- CANAGARATNA, S. G. A critique of the definition of heat. *American Journal of Physics* **37** (7): 679-683, 1969.
- CÁRDENAS, M.; RAGOUT DE LOZANO, S. Explicaciones de procesos termodinámicos a partir del modelo corpuscular: una propuesta didáctica, *Enseñanza de las Ciencias*, **14** (3): 343-349, 1996.
- GALILEI, Galileu. *O ensaiador*. Trad. H. Barraco, J. A. Motta Pessanha. São Paulo: Abril, 1996. (Os Pensadores).

- HALBWACHS, F. Sobre los problemas de la causalidad física. In: MONOD et al. (eds). *Epistemología y marxismo*. Barcelona: Ediciones Martinez Roca , 1974. Pp. 45-70.
- . Historia de la explicación en las Ciencias. In: PIAGET, Jean (ed.). *La explicación en las ciencias*. Barcelona: Ed. Martinez Roca, 1977. Cap. 4.
- HOPPE, E. *Histoire de la physique*. Paris: Payot, 1928.
- JAMMER, Max. *The conceptual development of quantum mechanics*. New York: Mc Graw-Hill, 1967.
- KIKOIN, Abram; KIKOIN, Isaak. *Física molecular*. Moscou: Naúka, 1976. [em russo]
- MAGIE, W. F. *A source book in physics*. New York: McGraw-Hill Book, 1935.
- OGBORN, J. The second law of thermodynamics: a teaching problem and an opportunity. *School Science Review*, **57** (201): 654-672, 1976.
- ROSMORDUC, J. *Uma história da física e da química: de Tales a Einstein*. Trad. L. V. C. Faria. Rio de Janeiro: Zahar, 1988.
- TRIPP, T.B. The definition of heat. *Journal of Chemical Education*, **53** (12): 782-784, 1976.