

SOBRE O ENSINO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

ON ENERGY CONSERVATION TEACHING

José Luis P. B. Silva e Edilson Fortuna de Moradillo

Instituto de química da UFBA, joseluis@ufba.br, edilson@ufba.br

Resumo

Uma significativa parcela de livros-textos de química e física utilizados nos cursos de graduação do Brasil apresentam a lei da conservação da energia como um resultado experimental, sem explicitar o raciocínio que permite chegar à idéia de conservação propriamente dita. Baseados em estudos historiográficos, argumentamos que os dados experimentais apenas revelam a correspondência entre as grandezas envolvidas, ao passo que a conservação da energia é postulada, com base em convicções metafísicas, possibilitando a interpretação dessa correspondência como equivalência. Ao explicitar a elaboração do conceito de conservação da energia, reiteramos nossa posição em favor duma concepção de conhecimento científico como teórico/prático, social e historicamente situado. Por isso, advogamos em favor de um modelo de ensino de ciências que considere a articulação dos conhecimentos prévios dos alunos e o desenvolvimento histórico dos conceitos científicos

Palavras-chave: energia, conservação da energia, ensino de termodinâmica.

Abstract

A meaningful amount of chemistry and physics textbooks employed in undergraduate courses in Brazil present the law of energy conservation as an experimental result without giving light to the reason that conduces to the conservation idea itself. Based on historiographic studies we argument that experimental data just reveal the correspondence among the magnitudes implied, while the conservation of energy is postulated based on metaphysical beliefs, allowing the interpretation of this correspondence as equivalence. By explaining this elaboration of the energy conservation concept we reiterate our position favorable to a conception of scientific knowledge as theoretical/practical, historically and socially located. So, we advocate in favor of a model science teaching which considers the relation between student previous knowledge and historical development of scientific concepts.

Keywords: energy, conservation of energy, thermodynamics teaching.

INTRODUÇÃO

O princípio da conservação da energia é fundamental na investigação da matéria. A partir da idéia de conservação da energia desenvolveu-se um conjunto de procedimentos que permite calcular as quantidades de energia envolvidas em processos de interesse prático, o que deu grande relevo social ao conceito de energia. Apesar da importância social e, portanto, educacional, da conservação da energia, faltam bons argumentos para explicá-la em nível introdutório. De fato, livros-textos universitários de química e física costumam apresentá-la como um resultado experimental, sem maiores detalhes acerca do raciocínio que permite chegar à idéia de conservação propriamente dita (ver, p. ex.: Alberty & Silbey, 1996; Atkins & Paula, 2003; Barrow, 1996; Castellan, 1986; Keller, Gettys & Skove, 1997; Levine, 1995; McKelvin & Grotch, 1979; Nussenzweig, 2004; Resnick & Halliday, 1984; Tipler, 2000).

A questão da origem do conhecimento é um problema filosófico de extrema importância para o ensino de ciências, principalmente quando se trata da formação de professores. Portanto, nosso ponto de partida é a crítica à concepção empirista-indutivista do conhecimento científico que tem dominado o ensino de ciências e se exhibe claramente em relação à conservação da energia nos livros didáticos examinados. Tal posição pressupõe que os fatos (fenômenos ou objetos) contêm, implicitamente, as teorias que lhes dão sustentação ou, dito de outra forma, as teorias derivam imediatamente dos fatos. A busca de métodos formais adequados para sondar o fato, passa a ser o empreendimento principal dessa forma de conhecer — o denominado método científico. Desse ponto de vista, o método científico parte da observação cuidadosa, cria hipóteses e retorna aos fatos para verificá-las; caso as hipóteses sejam corroboradas pelos fatos, pode-se chegar às leis e teorias. Um dos fundamentos deste método encontra-se na idéia de que existe uma racionalidade própria para conversar com os fatos, que sabe como interrogá-los de forma adequada para fazer emergir as teorias.

A crítica que tem sido feita e com a qual nos alinhamos (Lôbo & Moradillo, 2003), tem como pressuposto que entre os fatos e as teorias há um salto, uma vacância que não é explicada. As hipóteses não estão contidas nos fatos, é necessário uma orientação do pensamento para saber o que olhar, o que buscar, o que interrogar. Esta orientação do pensamento é contextual, depende do espaço-tempo cultural daquela comunidade de pesquisadores, depende da base interpretativa (paradigma de Kuhn) em que o pesquisador se apoia. A busca de uma operação lógico-formal para passar dos fatos às teorias — a indução baconiana — não se sustenta porque os fatos só são visíveis como tal à luz de uma teoria.

Adotamos uma concepção de ciência que não abstrai fatos e teorias do contexto sócio-histórico em que estão inseridos, que compreende o conhecimento como um evento social, histórico e teórico/prático. Por isso, tomamos como pressuposto que o ensino de ciências que considere a história das ciências em sua elaboração, poderá contribuir para o esclarecimento dos significados científicos (Silva, 2002). A estrutura conceitual de qualquer ciência desenvolve-se ao longo do tempo, modificando-se à medida que a emergência dos fatos requerem formulações explicativas diferentes. Desse modo, novos conceitos são criados, outros são aprimorados, alguns são postos de lado.

A construção do conceito de energia é um bom exemplo desse movimento próprio do conhecimento científico: a termodinâmica se estabeleceu como teoria na segunda metade do século XIX com a consolidação das idéias de conservação da energia e do crescimento da entropia, conceitos novos para a época. A nova teoria possibilitou interpretar fenômenos de áreas diversas,

como: mecânica, eletricidade, magnetismo, química, de modo integrado, abrindo perspectivas para o desenvolvimento científico e tecnológico que viria a se concretizar nas décadas seguintes.

TEORIA E EXPERIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO DO CONCEITO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Hoje é possível afirmar que a termodinâmica estuda a conversão das diversas formas de energia. Entretanto, o que atualmente se conhece como formas de energia eram grandezas desintegradas ou pouco relacionadas até o final do século XVIII, o que pode ser evidenciado através da seguinte série de fatos (Kuhn, 1989; Gibert, 1982; Lindsay, [197-]) [1]: energia cinética (conhecida como *vis viva*) e energia potencial (*vis mortua*) eram conceitos restritos à mecânica; o conceito de trabalho mecânico, com sua formulação matemática, não era plenamente aceito, ainda; relações qualitativas entre calor e trabalho mecânico eram conhecidas há um século, porém, coexistiam em disputa, duas teorias sobre o calor: uma, que explicava o calor como efeito de um fluido, o calórico, e outra, que o entendia como movimento das partículas constituintes dos corpos; movimentos de fricção produziam eletricidade nos geradores eletrostáticos e a atração e a repulsão elétricas podiam gerar movimento; relações entre magnetismo e eletricidade eram desconhecidas; reações químicas podiam produzir calor e luz; reações químicas haviam sido produzidas por centelhas; a luz era objeto de estudo da ótica, onde ocorria a disputa entre as teorias corpuscular e ondulatória. A conceituação da energia como propriedade conservativa viria a ser um movimento no sentido da unificação dessas áreas de estudo, conduzindo à re-significação de vários dos termos científicos empregados então.

De acordo com Thomas Kuhn (1989), foram três os principais fatores a contribuir para a formulação do conceito de conservação da energia: a maior disponibilidade dos processos de conversão da energia resultante da invenção da bateria elétrica, por Volta, em 1800; o interesse pela construção de máquinas, que conduziu à quantificação do trabalho mecânico realizado pelos novos engenhos; a concepção filosófica de um princípio unificador para todos os fenômenos naturais.

Elkana (1975), por seu turno, aponta como fatores básicos para a enunciação do princípio da conservação da energia: uma crença a priori em princípios de conservação na Natureza; a compreensão da necessidade de correlação conceitual entre as formulações newtoniana e lagrangiana da mecânica; a consciência do problema das “forças vitais” e a crença de que estas são redutíveis às leis da natureza inanimada; a certeza de que quaisquer entidades conservadas na Natureza devem ser expressas em termos matemáticos.

Apesar das divergências, ambos concordam na decisiva influência de crenças metafísicas dos investigadores pioneiros no estudo da conservação da energia para a elaboração do conceito.

É fato que a bateria, como fonte de energia elétrica de fácil acesso — fácil de construir, transportável, renovável — possibilitou a realização de experiências reproduzíveis que mostravam a existência de conexões até então desconhecidas ou obscuras. Se a energia elétrica era produzida por reações químicas, o inverso também podia ser feito. Correntes elétricas geravam forças magnéticas e vice-versa. A eletricidade fazia com que corpos fossem aquecidos e calor podia produzir eletricidade quando aplicado a uma junção de dois metais diferentes (termopar). Verdadeiras cadeias de processos tornavam-se evidentes, fortalecendo a idéia de conversão das grandezas envolvidas. Por exemplo: as reações químicas na bateria produziam uma corrente elétrica com conseqüentes forças magnéticas, que podiam ser utilizadas na produção de movimento de fricção, gerando eletricidade,

[1] O emprego da terminologia atual — formas de energia, energia cinética, etc. — embora anacrônico, não prejudica o argumento.

usada para fazer as reações químicas da bateria ocorrer em sentido contrário, recarregando-a. Ou então, calor era convertido em movimento utilizado na geração de eletricidade, que produzia calor.

A conceituação do trabalho mecânico como o produto da força aplicada sobre um corpo pelo deslocamento causado nesse corpo abriu caminho para a quantificação de outras formas de energia, o que podia ser realizado através de processos de conversão em laboratório. O estabelecimento de relações quantitativas entre grandezas diversas contribuiu, decisivamente, para o desenvolvimento das idéias de conversão e multiformidade da grandeza denominada força ou poder e que veio a ser a energia.

Entretanto, se a noção de conversão implica no reconhecimento de diferentes manifestações da mesma grandeza, não tem como consequência necessária a conservação dessa grandeza. Senão, vejamos. Em 1843, James Joule relatou algumas experiências publicou um artigo muito referido nos livros didáticos examinados. Na primeira parte do trabalho, Joule descreveu as cuidadosas experiências com que estabeleceu a relação entre o aquecimento produzido por um condutor elétrico e a corrente que o atravessa, conhecida, hoje, como lei de Joule. Dados referentes a essas experiências são mostrados na Tabela 1, abaixo (Joule, 1843).

Tabela 1: Dados de Joule da relação entre variação de temperatura e corrente elétrica [2]

Exp. no	1	2	3	4	5	6
ΔT (°F)	0,08	1,56	0,36	2,11	0,10	0,21
i	0,177	0,902	0,418	1,019	0,236	0,340
$\Delta T / i^2$	2,55	1,91	2,06	2,03	1,80	1,82

Estes resultados mostram que, à passagem da corrente elétrica corresponde um aquecimento, entendido por Joule como resultante da produção de calor. Embora a correspondência não seja muito precisa nesta primeira comunicação (a experiência foi posteriormente aprimorada) é possível estabelecer uma relação quantitativa entre a variação de temperatura da água e a corrente elétrica: $\Delta T = 1,92 i^2$, em média [3]. Esta expressão permite prever o aquecimento produzido por quaisquer outros valores de corrente, ou a corrente necessária para a elevação de temperatura desejada, mantidos constantes o tempo de passagem da corrente e a massa d'água.

A segunda parte do artigo é dedicada à determinação do equivalente mecânico do calor. No pós-escrito, Joule explicita que (Joule, 1843; Martins, 1984):

Não perderei tempo repetindo e estendendo essas experiências, pois estou seguro de que os grandes agentes da natureza são indestrutíveis, pelo fiat do Criador; e que quando se gasta poder mecânico, obtém-se sempre um calor exatamente equivalente.

O que as experiências de Joule evidenciaram, efetivamente, foi a **correspondência** entre a elevação de temperatura duma massa d'água e o quadrado da corrente elétrica que a produziu. A **interpretação teórica** dada a esta **correspondência** entre eletricidade e calor — fundamentada na conservação dos “agentes da natureza” — é que as duas formas de energia envolvidas na experiência são **equivalentes**, ou seja: a energia elétrica **converteu-se integralmente** em calor ou a energia mecânica converteu-se integralmente em calor. O conceito de conservação da energia só foi possível com esse passo teórico final.

[2] As unidades de corrente não foram especificadas no artigo. Porém, o fato das medidas terem sido feitas com o mesmo galvanômetro torna-as comparáveis entre si. O tempo de passagem da corrente foi fixado em quinze minutos. A massa d'água foi mantida igual e constante durante as experiências.

[3] O valor relativo à primeira experiência não foi considerado, devido à discrepância em relação aos demais.

Kuhn (1989) argumenta que vários dos investigadores pioneiros no estudo da conservação da energia viveram sob influência da Naturphilosophie, um movimento filosófico da época, cujos seguidores procuravam um único princípio para os fenômenos naturais, de modo que aplicaram esta crença na formulação da conservação da energia. Lindsay ([197-]) advoga que a noção de conservação em meio à mudança — da qual a conservação da energia é um caso particular — é muito antiga, podendo ser encontrada na antiguidade, entre os gregos e, mais recentemente, em estudiosos como Galileu, Descartes, Leibniz, D'Alembert, chegando até o século XIX, quando se forma o conceito de energia. Elkana (1975) identifica em Helmholtz, quem primeiro formulou matematicamente a conservação da energia, uma crença fundamental na existência de uma lei de conservação que cobria todos os ramos da física e do mundo vivo também.

Não há dúvida que idéias filosóficas de igualdade entre causa e efeito ou da impossibilidade do movimento perpétuo aplicadas aos processos de conversão, conduziram à conservação da energia. De fato, se cada forma de energia é causa para o surgimento de uma outra, tomada como efeito, a igualdade entre causa e efeito exige que a conversão seja quantitativa. Por outro lado, se em uma cadeia de processos de conversão a energia pudesse ser criada, o excesso produzido seria convertido em movimento, que se tornaria perpétuo pela contínua criação da forma de energia considerada. Conclui-se, então, pela impossibilidade de criação da energia. Mas, se não pode haver criação de energia, também não pode haver destruição, por que a inversão do processo de destruição produziria energia, o que é impossível. Logo, a conversão deve ser quantitativa e a energia deve ser conservada.

Este tipo de raciocínio pode ser claramente percebido no texto publicado em 1842 por Julius Mayer, intitulado Observações sobre as forças da natureza inanimada, onde defendia a conservação da força. No início do artigo, Mayer explica (Martins, 1984):

Forças são causas, e por isso aplica-se totalmente a elas o princípio: a causa é igual ao efeito. Se a causa c tem o efeito e , então $c = e$; se e é novamente a causa de um outro efeito f , então $e = f$, e assim por diante: $c = e = f \dots = c$. Em uma corrente de causas e efeitos, como se torna claro pela natureza de uma igualdade, nenhum elo ou parte de um elo pode tornar-se nulo. Nós chamaremos esta primeira propriedade de todas as causas de indestrutibilidade.

Se a causa dada c produziu um efeito e igual a si, então, por isso mesmo, c deixou de existir: c se transformou em e ; se após a produção de e restasse ainda uma parte de c ou ela inteira, então esta causa restante deveria ainda corresponder a outro efeito, e assim o efeito [total] de c deixaria em geral de corresponder a e , o que é contrário à suposição de que $c = e$. Assim, como c se torna e , e e se torna f , etc., devemos considerar essas grandezas como diferentes formas de manifestação de um mesmo objeto. A capacidade de assumir diferentes formas é a segunda propriedade essencial de todas as causas. Associando as duas propriedades, podemos dizer: Causas são objetos (quantitativamente) indestrutíveis e (qualitativamente) mutáveis.

Encontram-se na natureza duas classes separadas de causas, entre as quais não ocorrem interconversões, conforme mostra a experiência. Uma classe é constituída pelas causas que possuem as propriedades de ponderabilidade e impenetrabilidade — as [formas de] matéria; a outra, pelas causas às quais faltam essas últimas propriedades — as forças, também chamadas imponderáveis por essa propriedade negativa indicada. As forças são, portanto, objetos indestrutíveis, mutáveis, imponderáveis.

Na seqüência do artigo Mayer discute algumas experiências, com que pretende demonstrar a correção de sua tese, envolvendo a produção de calor em reações químicas, a transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética e desta em calor, chegando a um valor para a relação entre o trabalho mecânico e o calor. Cita, também, entre as forças, a luz e a eletricidade.

A constatação experimental de relações quantitativas constantes entre energia mecânica (cinética e potencial) e calor, eletricidade e calor, energia cinética e energia potencial gravitacional, “energia química” e eletricidade, “energia química” e calor, etc., demonstrou a correspondência existente entre estes fenômenos, entendidos como causa e efeito. A equivalência entre causa e efeito, entretanto, só pode ser entendida admitindo-se ambos como aspectos distintos de algo indestrutível, uma realidade que se conserva à medida que se transforma: a energia. Assim foram gerados os conceitos de formas de energia e de conversão de energia, que dão sustentação à idéia de conservação da energia.

Enfim, parece-nos claro que o princípio da conservação da energia é uma construção tanto teórica, quanto experimental. É essa construção que nos permite enunciar os principais atributos da energia como sendo a conservação e a multiformidade. Através da interconversão quantitativa das formas de energia, evidenciada experimentalmente, justificamos a conservação do todo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão da conservação da energia passa pelo entendimento da relação entre teoria e experiência na produção do conhecimento científico. Se desejamos que os estudantes desenvolvam uma aprendizagem significativa desta lei, o ensino precisa considerar as possíveis concepções de energia possuídas pelos alunos, pois tais conhecimentos influirão na compreensão da explicação que pretendemos construir (Ausubel, Novak & Hanesian, 1980; Moreira, 1983).

Os estudantes desenvolvem idéias de energia relacionadas à vida cotidiana, com caráter mais geral, p. ex.: vigor, atividade, vitalidade, e outras que, embora tenham caráter comum, também fazem parte do conhecimento escolar, tais como: força, eletricidade e calor (Hierrezuelo & Montero, 1989; Driver et al., 1999). Significados bastante disseminados e especialmente importantes para o argumento que temos em mente, são: formas de energia (p. ex.: energia elétrica, calor, energia luminosa), consumo e produção de energia, posto que a conservação pode ser justificada através da conversão — entendida como consumo e produção simultâneos — de formas de energia (Silva, 1999; Silva e Pregnotatto, 1999; Silva e Pregnotatto, 2000).

Em vista da amplitude do conceito de energia, torna-se importante distinguir seus significados comuns e científicos, uma vez que, é preciso romper com o senso-comum, com o conhecimento primeiro, com o conhecimento imediato no ensino de ciências (Lopes, 1999). Uma distinção parcial [4] pode ser feita com base na maior restrição dos conceitos científicos, em relação aos significados adotados comumente. Essa restrição é mais facilmente demonstrável através da distinção entre natureza e modelo da natureza (Bunge, 1974) [5]: tanto o senso comum quanto a ciência buscam explicar os fenômenos naturais, porém, os conceitos científicos referem-se aos fenômenos através de modelos da natureza. Como os modelos são, necessariamente mais simples que seus objetos, os conceitos que os constituem também o serão.

[4] Esta distinção é necessária e suficiente para o ensino médio e anos iniciais da graduação, onde a conservação da energia é tradicionalmente ensinada. Em estágio mais avançado do currículo os estudantes precisam conhecer um pouco das filosofias e histórias das ciências, onde tal distinção poderá ser aprofundada.

[5] Uma leve introdução ao tema pode ser encontrada no livro da coleção Primeiros Passos, *O que é Realidade* (Duarte Jr., 2004.).

Um segundo ponto igualmente importante é a compreensão da energia como conceito primitivo, indefinido, do qual derivam outros conceitos da teoria (Bunge, [s.d.]). O conceito científico da energia é uma construção original, que não pode ser deduzida de outros conceitos. A explicitação da energia como princípio científico, ou seja, um conceito que abre (principia, inicia) uma nova área de estudo é importante para sua conceituação por intermédio das características que lhe atribuímos — conservação, conversão, etc. — de modo que, apesar de indefinida, a energia possui significado claro e preciso.

Um material instrucional foi produzido a partir do estudo histórico do conceito de energia e utilizado com estudantes universitários de química (licenciatura e bacharelado). A análise de mapas conceituais elaborados pelos alunos antes e depois do ensino mostrou um aumento da compreensão da energia como um conceito geral, cuja conversão se dá entre diferentes formas que a energia se manifesta, de modo que os resultados de aprendizagem podem ser considerados bons (Silva, 1999; Silva e Pregnotatto, 1999; Silva e Pregnotatto, 2000).

Devemos notar, ainda, que o conceito de forma de energia, tão útil para a introdução da idéia de conservação da energia — a energia é conservada porque se **trans-forma** — cria uma grande limitação para este argumento, qual seja: não explicar claramente como ocorrem tais transformações. As transformações ou conversões de energia caracterizam-se pelo consumo de uma forma de energia e produção de outra; uma deixa de existir para que outra possa ter existência. Há algo de mágico nessa explicação: algo some e reaparece de modo diferente. Como pode ser assim?

Esta questão poderá ser examinada com algum detalhe recorrendo-se a um modelo microscópico da matéria, o que proporciona uma visão mais rica dos fenômenos naturais. Nessa nova perspectiva, as formas de energia reduzem-se a apenas duas — energia cinética e potencial — cuja transformação se baseia na idéia de que a interação afeta o movimento de tal modo que o aumento de uma forma implica, necessariamente, na diminuição da outra (Silva, Moradillo e Penha, 2002). A explicação que resultará da articulação desses conceitos será, necessariamente, uma interpretação teórica dos dados experimentais.

Propomos um ensino de ciências que leve em consideração a sua produção e, não apenas, os resultados. Para isso é necessário entender o empreendimento científico como algo cultural que ocorre através da mediação do sujeito coletivo, situado historicamente, que busca dar conta das suas necessidades e sua liberdade. Nessa perspectiva, a apropriação dos estilos de pensamento das ciências é um importante fator de transformação do sujeito porque possibilita o desenvolvimento do espírito crítico, tornando-o mais agudo e inquiridor. Porém, tais qualidades só poderão ser trabalhadas superando-se visões simplistas das ciências.

REFERÊNCIAS

- ALBERTY, Robert A.; SILBEY, Robert J. **Physical Chemistry**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. p.30.
- ATKINS, Peter; PAULA, Julio de. **Físico-Química**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. v.1, p.37.
- BARROW, Gordon M. **Physical Chemistry**. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 1996. p.103.
- BUNGE, Mario. **Filosofia da Física**. Lisboa: Edições 70, [s.d]. p.18-19.
- BUNGE, Mario. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- CASTELLAN, Gilbert. **Fundamentos de Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC, 1986. p.97.
- DRIVER, Rosalind et al. **Dando Sentido a la Ciencia en Secundaria**. Madrid: Visor, 1999.
- DUARTE Jr., João-Francisco. **O que é Realidade**. São Paulo: Brasiliense, 2004.
- ELKANA, Yehuda. **The Discovery of the Conservation of Energy**. Cambridge: Harvard University Press, 1975. p.11-12.

- GIBERT, Armando. **Origens Históricas da Física Moderna**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1982.
- HIERREZUELO, José; MONTERO, Antonio. **La Ciencia de los Alumnos**. LAIA/MEC: Barcelona/Madrid, 1989.
- JOULE, James P. On the calorific effects of magneto-electricity, and on the mechanical value of heat. *Philosophical Magazine*, ser.3, vol.XXIII, p.263, 1843. In: LINDSAY, Robert Bruce (ed.). **Energy: Historical Development of the Concept**. Stroudsburg : Dowden, Hutchinson & Ross, [197-]. p. 308-344.
- KELLER, Frederick J.; GETTYS, W. Edward; SKOVE, Malcom J. **Física**. São Paulo: Makron Books, 1997. v.1, p.465 e 476.
- KUHN, Thomas. A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea. In: KUHN, Thomas. **A Tensão Essencial**. Lisboa: Edições 70, 1989. p. 101-141.
- LEVINE, Ira N. **Physical Chemistry**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1995. p.44-45.
- LINDSAY, Robert Bruce. The concept of energy and its early historical development. In: LINDSAY, Robert Bruce (ed). **Energy: Historical Development of the Concept**. Stroudsburg : Dowden, Hutchinson & Ross, [197-]. p.13-23.
- LÔBO, Soraia Freaza; MORADILLO, Edilson Fortuna. Epistemologia e formação docente em química. **Química Nova na Escola**, n.17, p. , 2003.
- LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. **Conhecimento Escolar: Ciência e Cotidiano**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1999.
- MARTINS, Roberto A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 6, p.63-95, 1984.
- McKELVEY, John P.; GROTCHE, Howard. **Física**. São Paulo: Harbra, 1979, v.2, p.623.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. v.2, p. 175-178.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1984. v.2. p.185-186.
- SILVA, José Luis P. B. **Um Ensino Facilitador da Aprendizagem Significativa da Termodinâmica Básica**. 1999. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- SILVA, José Luis P. B. PREGNOLATTO, Yukimi. Um ensino para aprendizagem significativa da termodinâmica básica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos-SP. **Atas ...**. Porto Alegre: ABRAPEC, 1999. CD-ROM.
- SILVA, José Luis P. B. PREGNOLATTO, Yukimi. Avaliação de aprendizagem por mapas conceituais: o caso da primeira lei da termodinâmica. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000, Florianópolis. **Atas ...**. Florianópolis: SBF, 2000. CD-ROM.
- SILVA, José Luis P. B. O valor pedagógico da história das ciências. **Ideação**, n.9, p.109-124, 2002.
- SILVA, José Luis P. B., MORADILLO, Edilson Fortuna. PENHA, Abraão Félix. , Interpretação microscópica do calor de reação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 25., 2002, Poços de Caldas-MG. **Livro de Resumos ...**. São Paulo: SBQ, 2002. ED090.
- TIPLER, Paul A. **Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v.1, p173 e 534.