

A transposição didática do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física

Bianca Cintra de Carvalho
Luciano Carvalhais Gomes

RESUMO

O presente trabalho teve como principal objetivo fazer uma análise comparativa, por meio dos pressupostos teóricos da transposição didática, de como o tema equivalente mecânico do calor foi apresentado por James Prescott Joule e de que forma ele é abordado pelos livros didáticos de Física do Ensino Médio. Após uma revisão bibliográfica em que foi feita uma leitura dos textos originais de Joule, escritos em meados do século XIX, verificou-se que esse tema sofre uma despersonalização, dessincretização e descontextualização, pelos livros didáticos, acarretando em um saber desprovido de seu contexto histórico e epistemológico. Além disso, os livros divulgam inúmeras distorções e simplificações quanto às imagens utilizadas para ilustrar o famoso experimento de Joule, o calorímetro das pás. Essas conclusões servem como um alerta para aqueles que utilizam os livros didáticos como referenciais teóricos no ensino, uma vez que eles reduzem a história da ciência a nomes, datas e procuram reafirmar posições indutivistas.

Palavras-Chave: Ensino de Física. História da Ciência. Calor. Joule. Livro texto.

The didactic transposition of mechanical equivalent of heat in Physics text books

ABSTRACT

The present work aimed to make a comparative analysis, through theoretical basis of the Didactic Transposition, of how the mechanical equivalent of heat theme was presented by the James Prescott Joule and how it is approached by high school physics text books. After a literature review that was made a reading Joule's original texts, written in the middle of the XIX century, we found that the theme suffer depersonalization, desyncretization and decontextualization, for the text books, resulting in a knowledge devoid of its historical and epistemological context. In addition, didactic books divulge many distortions and simplifications about the images used to illustrate the Joule's famous experiment, the calorimeter shovels. These

Bianca Cintra de Carvalho é Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática (2016). Atualmente, é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Endereço para correspondência: Avenida Guedner, 891, 87050-390 Maringá, PR. E-mail: biancacintra1992@gmail.com

Luciano Carvalhais Gomes é Doutor em Educação para a Ciência e a Matemática (2012). Atualmente, é professor adjunto do Departamento de Física e do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática (PCM) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Endereço para correspondência: Avenida Colombo, 5790, 87020-900 Maringá, PR. E-mail: lcgomes2@uem.br

Recebido para publicação em 22/1/2017. Aceito, após revisão, em 31/3/2017.

| | | | | | |
|----------------|--------|------|-----|-----------|----------------|
| Acta Scientiae | Canoas | v.19 | n.2 | p.373-393 | mar./abr. 2017 |
|----------------|--------|------|-----|-----------|----------------|

conclusions serve as warning to those using the text books as theoretical teaching, since they reduce the history of science into names, dates and seek to reaffirm inductivists positions.

Keywords: Physical educations. History of Science. Heat. Joule. Text Book.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, o ensino tradicional tem recebido críticas de diversos pesquisadores (CARVALHO, 1989; LIBÂNEO, 1994; MATTHEWS, 1995; GARDELLI, 2004; MARTINS, 2006). Nesse modelo, o processo de ensino está centrado no professor, que expõe e interpreta a matéria, expressando a ideia de que o conhecimento é algo a ser transmitido, sendo o aluno um agente passivo do processo (LIBÂNEO, 1994). Dessa forma, os estudantes são sobrecarregados de conhecimentos que são apenas decorados sem questionamento. O ensino tem como objetivo somente a execução de exercícios repetitivos, que não passam de mera manipulação de fórmulas, reduzindo-se a práticas de memorização. Essa prática é reforçada pelos livros didáticos.

O ensino de Física baseado nos livros didáticos comuns corrobora com a prática de ensino tradicional. Esses apresentam uma ciência fragmentada, não possibilitando a discussão das questões levantadas pelos seres humanos durante o desenvolvimento da ciência, visto que “[...] o conhecimento é apresentado como um produto acabado, fruto da genialidade de algumas mentes privilegiadas [...]” (GARDELLI, 2004, p.1). Essa concepção contribui para uma elevação nos índices de analfabetismo científico dos educandos, pois os leva a concluir que são incapazes de fazer ciência e que não há mais nada a ser descoberto ou inventado, não sendo motivados a compreender os fenômenos que estudam (GARDELLI, 2004). Faz-se então necessário que o aprendiz compreenda que a ciência não é algo linear e fragmentado, da forma como tem sido abordada tradicionalmente. Trata-se de uma construção humana, não imune a erros e que está marcada por contradições e dúvidas.

Nessa perspectiva, a história da ciência tem sido considerada como uma importante ferramenta no ensino de ciências (CARVALHO, 1989; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006), pois “[...] nos apresenta uma visão a respeito da natureza da pesquisa e do desenvolvimento que não costumamos encontrar no estudo didático dos resultados científicos [...]” (MARTINS, 2006, p.xxi) visto que, os livros científicos didáticos utilizados no Ensino Médio enfatizam apenas os resultados obtidos pela ciência, ou seja, as teorias e conceitos aceitos, mas comumente não apresentam outros aspectos da ciência, como o desenvolvimento das teorias, o verdadeiro trabalho dos pesquisadores, as ideias científicas aceitas no passado e as relações entre ciência, filosofia e religião (MARTINS, 2006).

Assim, a compreensão da história da ciência é fundamental para que se consiga compreender quais as transformações que ocorrem nos conceitos físicos nos materiais didáticos, propiciando aos professores a “[...] capacidade de avaliar e criticar o que, porventura, não for adequado no livro didático – tanto em termos estritamente conceituais, quanto em termos históricos e filosóficos” (CORDEIRO; PEDUZZI, 2012, p.184).

Além disso, os textos históricos auxiliam o professor na compreensão da estrutura e desenvolvimento dos conteúdos que leciona (MATTHEWS, 1995; GARDELLI, 2004), o que o capacita a compreender com mais profundidade as dificuldades e resistências dos alunos, uma vez que os mesmos precisam passar por um processo semelhante ao processo ocorrido no desenvolvimento histórico da ciência (BARROS; CARVALHO, 1998).

O conhecimento da história da ciência torna-se um importante aliado, visto que o estudante, ao examinar alguns exemplos, pode compreender o processo de construção da ciência e perceber que algumas pessoas já acreditaram e defenderam ideias semelhantes à sua, mas que essas ideias foram ao longo do tempo substituídas por outras explicações mais adequadas e coerentes para a compreensão do fenômeno. Portanto, o conhecimento da história da ciência faz-se necessário, tanto para o docente quanto para o educando, visto que auxiliará para uma transformação conceitual (MARTINS, 2006).

Nesse contexto, compreendendo os problemas enfrentados em sala de aula para distinguir os conceitos de calor e temperatura (KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2002; SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008) e os obstáculos enfrentados pela comunidade científica para o estabelecimento do conceito de energia (CARDWELL, 1989), nosso principal objetivo é fazer uma análise comparativa de como o tema equivalente mecânico do calor foi apresentado por James Prescott Joule e de como ele é abordado pelos livros didáticos de Física do Ensino Médio, buscando compreender, por meio dos pressupostos teóricos da transposição didática, as transformações sofridas.

OS LIVROS DIDÁTICOS E A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Os livros didáticos estabelecem de forma detalhada o currículo já prescrito, influenciando a prática escolar, visto que servem como um suporte para a relação de ensino aprendizagem, sendo muitas vezes, um agente determinante do currículo (BUCUSSI, 2005; PAGLIARINI, 2007). Devido a formação deficiente recebida pela grande maioria dos professores, esses passam a depender desse “auxílio” para cumprir o programa proposto, fazendo com que os livros didáticos se tornem determinantes da prática pedagógica em sala de aula e não apenas recursos auxiliares (SILVA, 2012).

Em virtude dessa intensa utilização, “[...] o professor torna-se um repetidor de atividades pré-elaboradas por outros, as quais incorporam propósitos que são alheios, tanto aos professores, quanto aos estudantes [...]” (MONTEIRO, 2010, p.44), reforçando ainda mais as práticas tradicionais de ensino, as quais possuem diversas críticas por não serem suficientes para que ocorra uma verdadeira aprendizagem.

Surge, então, um problema, haja vista que sua utilização ainda ocorre de forma ingênua, sendo empregado como fonte da verdade, influenciando as concepções de ciência tanto dos professores como dos alunos, ou seja, de um lado “[...] os alunos são fortemente influenciados pela visão de ciência dos professores, de outro, tanto os alunos quanto os próprios professores, têm suas visões de ciência influenciadas pelos livros didáticos [...]” (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1999, p.2). Muitas vezes eles

reforçam as concepções alternativas dos alunos ao apresentarem concepções errôneas, fatos distorcidos, uma ciência atemporal que não leva em consideração o que o aluno já sabe, apenas impõe uma “verdade científica”. Assim, os conceitos apresentados nos livros configuram:

[...] erroneamente o conhecimento científico como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas, desprovidas de interesses político-econômicos e ideológicos, ou seja, que apresenta o conhecimento sempre como verdade absoluta, desvinculado do contexto histórico e sociocultural. Aliás, usualmente os livros escolares utilizam quase exclusivamente o presente atemporal (presente do indicativo) para veicular os conteúdos. Desse modo, apresenta-os como verdades que, uma vez estabelecidas, serão sempre verdades [...]; (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003, p.151)

Como consequência, há um reforço da concepção de que existe somente um processo de produção científica: o método empírico-indutivo. Nessa perspectiva, a ciência é compreendida de forma linear, sistemática, não apresentando a diversidade de métodos e circunstâncias que ocorrem no processo da construção histórica do conhecimento científico (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003). Isso faz com que o aluno se torne passivo ao acreditar que a ciência é uma verdade absoluta, inquestionável e a ele cabe apenas memorizar isso temporariamente para uma possível avaliação do conteúdo.

De fato, o ensino de determinado saber, derivado do conhecimento científico, só será possível se ocorrerem modificações que o tornem apto a ser ensinado (ALMEIDA, 2011; MAGALHÃES JÚNIOR, 2011). Assim, buscando compreender a transformação que ocorre entre o discurso científico e o discurso escolar, é necessário, segundo Alves Filho (2000a), ter consciência da transposição didática que ocorre com o saber até tornar-se conteúdo de ensino, possibilitando que o professor desenvolva um ensino mais contextualizado e com conteúdos menos fragmentados do que são apresentados nos materiais didáticos (ALVES FILHO, 2000a). Essa “[...] transição do conhecimento considerado como uma ferramenta a ser posto em prática, para o conhecimento como algo a ser ensinado e aprendido [...]” (CHEVALLARD, 2013, p.9), é o que Chevallard define como transposição didática.

A transposição didática, proposta pelo sociólogo Michel Verret, em 1975 e aperfeiçoada pelo educador francês Yves Chevallard, em 1980, é composta por três esferas do saber:

[...] o ‘savoir savant’ (saber do sábio), que no caso é o saber elaborado pelos cientistas; o ‘savoir a enseigner’ (saber a ensinar), que no caso é a parte específica aos professores e que está diretamente relacionada à didática e à prática de condução de sala de aula; e por último o ‘savoir enseigné’ (saber ensinado), aquele

que foi absorvido pelo aluno mediante as adaptações e as transposições feitas pelos cientistas e pelos professores. (ALMEIDA, 2011, p.10)

Em suma, a transposição didática busca compreender as transformações sofridas pelo saber sábio para tornar-se saber ensinado. Essas transformações têm início no próprio meio acadêmico, ao tentar comunicar o resultado das investigações realizadas pelos pesquisadores. Nesse processo, não são revelados quais foram os problemas enfrentados ao longo da pesquisa, quais as hipóteses, os erros cometidos, as dúvidas – fatores internos e externos que influenciaram o pesquisador, assim como os motivos que o conduziram a pesquisa e as pressões sociais que o influenciaram, omitindo, portanto, o contexto histórico no qual o cientista e a pesquisa encontram-se, apresentando-a como um produto impessoal, despersonalizado e descontextualizado (AGRANIONI, 2001). Por conseguinte, o saber a ensinar pode ser considerado como “[...] um produto organizado e hierarquizado em grau de dificuldade, resultante de um processo de total descontextualização e degradação do saber sábio [...]” (ALVES FILHO, 2000a, p.177). Desse modo:

Ao sofrer transposição didática, um elemento do saber passa por processos, tais como: **‘despersonalização’**, no qual o saber se torna impessoal, desvinculado do seu produtor, tornando-se anônimo; **‘descontextualização’**, em que o saber perde sua história, seu contexto, é separado dos problemas da pesquisa e em seguida recontextualizado dentro dos objetivos educacionais e **‘dessincritização’**, na qual o saber sofre rupturas e os conceitos se tornam mais distantes e isolados, sendo publicados em partes. (MAGALHÃES JÚNIOR, 2011, p.44, grifo nosso)

Os livros textos são os responsáveis por apresentar o saber a ensinar em forma de conteúdos, de modo organizado, dogmático e a-histórico, configurando-se de forma linear e cumulativa (ALVES FILHO, 2000a; KIOURANIS et al., 2010). Nesse processo, ocorre uma “[...] valorização equivocada do aspecto empírico, o que faz incutir uma tradição e um sentimento de que o laboratório é imprescindível [...]” (ALVES FILHO, 2000a, p.179). Assim, reforça-se a concepção empírico-indutivista e limita-se os leitores a conhecer os resultados e convencer-se de sua validade, pois é marcante nesse processo de transposição didática a crença de que a natureza revela-se quando se realiza observações cuidadosas e isentas, o que fica explícito nos materiais didáticos, visto que a linguagem por eles utilizada confirma essa concepção de ciência extraída diretamente da natureza, legitimando uma concepção empirista da ciência (ALVES FILHO, 2000a).

Essa primeira transposição, do saber sábio em saber a ensinar, realizada pelos livros textos e manuais didáticos, é denominada *transposição didática externa*. Na sequência, dentro do ambiente escolar, o saber a ensinar transforma-se em saber ensinado. Esse processo é denominado *transposição didática interna* (ALVES FILHO, 2000a; MAGALHÃES JÚNIOR, 2011). Nesse momento, o papel do professor é fundamental, pois cabe a ele fazer a transposição do Saber a Ensinar

em Saber Ensinado, selecionando e recortando o conteúdo, fragmentando-o e organizando-o a fim de proporcionar uma melhor compreensão dos conceitos (MAGALHÃES JÚNIOR, 2011). Entretanto, o professor deve estar atento para que essas transformações não sejam meras simplificações do saber (OLIVEIRA, 2010). De acordo com a transposição didática, é necessário “[...] fabricar artesanalmente os saberes, tornando-os ensináveis, exercitáveis e passíveis de avaliação no quadro de uma turma, de um ano, de um horário, de um sistema de comunicação e trabalho [...]” (PERRENOUD, 1993 apud ALMEIDA, 2011, p.9), contribuindo para que a transposição do discurso científico para o discurso escolar seja de forma mais significativa.

Nesse sentido, tendo-se em vista os processos pelos quais o conceito passa, ao sofrer transposição didática, buscamos investigar: Como o conceito de equivalente mecânico do calor é abordado pelos livros de Física do Ensino Médio? Para melhor compreensão, apresentamos uma breve abordagem dos trabalhos de James Prescott Joule sobre o equivalente mecânico do calor e na sequência os procedimentos metodológicos adotados para a análise dos livros didáticos.

JAMES PRESCOTT JOULE E O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

James Prescott Joule (1818-1889) nasceu em Salford, na Inglaterra, próximo a Manchester, numa época de grandes transformações técnicas e sociais (VALENTE, 1999). Filho de um importante cervejeiro, teve sua educação assegurada por tutores, pois, devido uma ligeira deformidade espinhal e uma saúde frágil, não pode frequentar a escola. Sua educação científica, entre 1834 e 1837, foi assegurada por John Dalton (1766-1844), conhecido pelo seu extenso trabalho sobre a teoria atômica (GOMES, 2012).

Joule foi um cientista amador, pois não teve acesso à educação universitária (CARDWELL, 1989; VALENTE, 1999). Devido à aposentadoria do pai por motivos de saúde, ele assumiu a cervejaria em 1833, aos 15 anos de idade. Sempre que possível, nas horas que lhe restavam, realizava experiências de química e física num laboratório construído em casa (GOMES, 2012).

De acordo com Cardwell (1989), as experiências envolvendo eletricidade constituíam seu campo favorito de estudo. Isso é reflexo do contexto histórico no qual se encontra inserido, visto que, com os estudos realizados por Faraday, desenvolve-se uma certa “euforia elétrica”. Dessa forma, os *motores elétricos* constituem o primeiro interesse científico de Joule, o qual se interessa, particularmente, pela melhoria da eficiência desses motores (VALENTE, 1999). Sua motivação pode ser explicada devido à ligação da sua família à indústria (CARDWELL, 1989; VALENTE, 1999; GOMES, 2012).

Em seu primeiro artigo, “Description of an Electro-magnetic Engine” (1838),¹ Joule procura analisar máquinas eletromagnéticas e dando sequência a esse tema, outros artigos buscaram descrever investigações por ele realizadas sobre o eletromagnetismo. Durante seus estudos, não demora a perceber que sua pesquisa em busca da melhoria do desempenho dos motores elétricos deveria abranger um estudo da produção de calor nos circuitos elétricos (GOMES, 2012).

Em 1843, um ano após Mayer publicar seu primeiro artigo, “Über die quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte” (“Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças”), Joule apresenta seu primeiro trabalho sobre a convertibilidade entre calor e trabalho e realiza alguns experimentos quantitativos para encontrar o valor mecânico do calor, chegando ao problema central de toda sua atividade científica: a determinação do equivalente mecânico do calor (VALENTE, 1999; GOMES, 2012). Esse trabalho teve o título de “On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat” e foi publicado na *Philosophical Magazine*.

Em 1845, é publicado no *Philosophical Transactions* o artigo “On the Changes of Temperature produced by the Rarefaction and Condensation of Air” (VALENTE, 1999). Nesse trabalho, sua intenção é desenvolver experiências “mais simples” a fim de obter valores mais exatos para o equivalente mecânico do calor (VALENTE, 1999; GOMES, 2012).

Sendo ele um atomista, devido à influência de Dalton, ao examinar os dados experimentais obtidos, pressupõe que esses não podem ser explicados se considerarmos o calor como uma *substância*, mas podem ser deduzidos se utilizarmos a teoria na qual “[...] o calor é considerado como um **estado de movimento entre as partículas constituintes dos corpos [...]**” (Joule, 1884, p.186, grifo nosso, tradução nossa), ou seja, “[...] os átomos dos gases não podem, então, estar estáticos; eles devem, de alguma maneira, estar associados ao movimento” (CARDWELL, 1989, p.64, tradução nossa). Desse modo, acredita que suas experiências constituem um novo argumento “[...] em favor da teoria dinâmica do calor, que se originou com Bacon, Newton e Boyle, e em um período posterior, foi tão bem apoiada pelas experiências de Rumford, Davy e Forbes [...]” (Joule, 1884, p.187, tradução nossa).

Na conferência da *British Association*, realizada em Cambridge, ainda em 1845, Joule exhibe uma nova determinação para o equivalente mecânico, descrevendo sua experiência mais conhecida, a de agitação da água por meio de pás (GOMES, 2012).² Relatando o que apresentou nessa conferência, ele enviou uma carta para os editores da *Philosophical Magazine* com o título “On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power”.

¹ Todos os artigos de Joule utilizados neste trabalho foram encontrados nesta coletânea. Este arquivo encontra-se disponível em: <http://www.archive.org/details/scientificpapers01joul>. Deste modo, o ano e as páginas indicadas ao longo deste trabalho referem-se a esta fonte.

² De acordo com Mach (1986 apud GOMES, 2012, p.74), “[...] essa experiência foi repetida várias vezes por Joule até o ano de 1849 quando ele deu-se por satisfeito com os resultados alcançados”.

Apesar do método da agitação das pás ter fornecido os resultados médios menos precisos adquiridos, Joule adotou tal método para dar prosseguimento na busca por melhores valores, visto que esse era o mais simples (motivo já desejado por ele anteriormente, pois buscava a perfeição, mas queria uma simplicidade teórica para determinar a relação entre calor e movimento); estava menos aberto às objeções do que os outros métodos empregados e, além disso, poderia ser facilmente reproduzido utilizando outros líquidos, além da água, ampliando a variedade dos resultados (CARDWELL, 1989; GOMES, 2012).

Em 1847, Joule descreve de forma mais ampla e coerente o princípio geral da conservação da energia, em uma palestra popular proferida no *St. Ann's Church Reading Room*, no dia 28 de abril, em Manchester. Essa palestra foi publicada em Maio do mesmo ano, em um jornal local, o *Manchester Courier*, sob o título “*On Matter, Living Force, and Heat*” (GOMES, 2012). Esse artigo apresenta o embasamento teórico utilizado por Joule, que o motivou a continuar realizando as experiências sobre o equivalente mecânico do calor (GOMES, 2012). Segundo ele:

[...] Experiências permitiram-nos responder a estas perguntas de forma satisfatória, pois tem mostrado que, **onde quer que a força viva seja aparentemente destruída, um equivalente é produzido**, que no decorrer do tempo pode ser reconvertido em força viva. **Este equivalente é o calor** [...]. (Joule, 1884, p.269, grifo nosso, tradução nossa)

Assim, conforme os resultados das experiências por ele realizadas, onde a “força viva” parece ser destruída ou absorvida, calor é produzido.

Joule continua a aperfeiçoar seu experimento das pás e, em 1850, publica o artigo “*On the Mechanical Equivalent of Heat*”, na revista *Philosophical Transactions*. Nesse trabalho, busca melhor descrever o aparato experimental já visto no artigo “*On the Existence of an Equivalent Relation between Heat and the ordinary Forms of Mechanical Power*” e apresenta os registros das medidas até então efetuadas, além da análise dos resultados obtidos (GOMES, 2012).

O objetivo desse artigo foi apresentar novos resultados para os experimentos realizados, a fim de determinar o equivalente mecânico com exatidão, conforme prometido à *Royal Society* anteriormente e fazer um ligeiro esboço da evolução da doutrina mecanicista, identificando algumas pesquisas sobre o efeito calórico produzido por atrito que são importantes para a compreensão dos fenômenos de radiação e transmissão de calor. Inicia fazendo uma descrição detalhada do aparato experimental utilizado, sendo o primeiro trabalho no qual ele insere o desenho do dispositivo.

O método de experimentação utilizado por Joule para obter um novo valor para o equivalente mecânico do calor consistia em suspender os corpos por fios, que “[...] após passarem por um sistema de roldanas, eram enrolados no eixo das pás móveis” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.2). Colocava-se água no interior do calorímetro e

essa era agitada pela rotação das pás. A energia de queda dos corpos era em grande parte transformada em calor dentro do calorímetro, com o termômetro era averiguado a elevação da temperatura dentro do recipiente e partir disso era possível “[...] determinar a relação existente entre a parcela de energia mecânica resultante da queda dos corpos, convertida em calor, e o valor deste calor produzido [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.2) no interior do calorímetro.

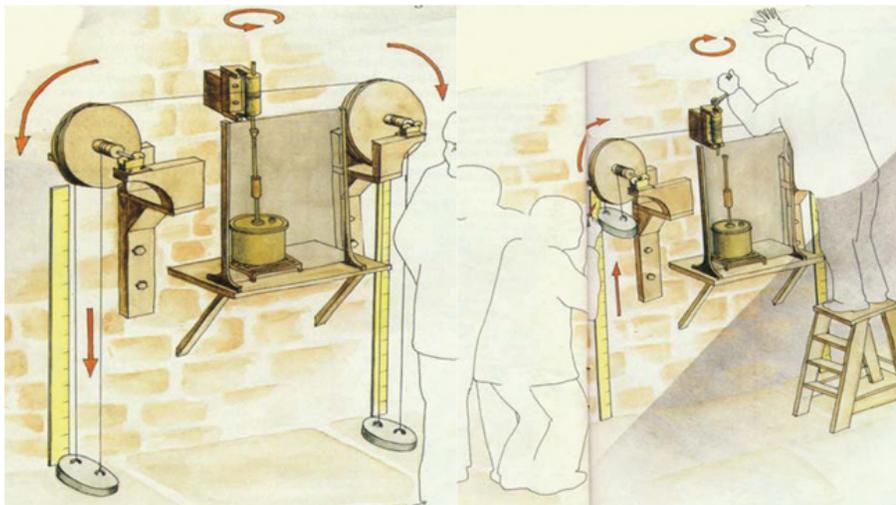
O problema era como realizar uma “[...] estimativa precisa do valor da parcela de energia mecânica que efetivamente era convertida em calor [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.2). Para isso, era necessário conhecer os pesos dos corpos e a altura de queda a fim de determinar a energia potencial. Entretanto, “[...] para que essa energia cinética pudesse ser medida, a velocidade adquirida deveria ser constante. Este problema foi minimizado por Joule com a utilização das pás fixas [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.2). Estas aumentavam o atrito com a água, o que ocasionava uma diminuição da velocidade de queda dos corpos. Era necessário subtrair a energia cinética adquirida, na queda, pelos corpos da energia potencial inicial destes corpos, para ser possível calcular qual a parcela que seria transformada em calor.

Procurando otimizar o experimento, Joule utilizou duas massas, dispostas simetricamente, de modo a manter o eixo das pás móveis estável. Era necessário utilizar um eixo metálico bastante resistente, devido à turbulência ocasionada na água. Entretanto, como era feito de metal, sendo um bom condutor, provocava perdas de calor do recipiente para o meio exterior. Para reduzir tais perdas, ele seccionou o eixo colocando uma espécie de luva resistente, feita com um material isolante, de modo a impedir a perda de calor ocasionada e unir as duas partes seccionadas do eixo. Por fim, como o atrito no eixo das roldanas auxiliava nas perdas de energia, Joule substituiu o esquema inicial que consistia em apenas uma roldana por um arranjo no qual o eixo da roldana principal estava apoiado em duas outras roldanas (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000).

Para conseguir aferir as pequenas variações de temperatura na água, Joule precisou utilizar um termômetro muito acurado, dotado com um grande número de subdivisões. O autor afirma que os termômetros empregados eram muito sensíveis, detectando diferenças de aproximadamente 1/100 °F (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000).

Percebe-se que Joule enfrentou diversas complicações ao longo de seu trabalho, as quais “[...] teve de tentar, astuciosamente, contornar com rara habilidade experimental [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.3). Assim, após um grande número de tentativas, Joule chegou à melhor situação possível: para tornar-se possível aferir as pequenas variações na temperatura, as duas massas caíam diversas vezes para provocar um aumento de temperatura. Para isso, por meio de uma manivela, erguiam-se as duas massas, desconectadas do eixo das pás móveis, retirando-se um pino. Essa operação “[...] era estritamente necessária, caso contrário a energia gasta para elevar os pesos teria que ser considerada [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.3). Desse modo, Joule conseguiu determinar o valor do equivalente mecânico do calor, levando em consideração a teoria dinâmica do calor. A Figura 1 apresenta alguns dos principais aspectos do experimento do calorímetro das pás.

FIGURA 1 – À esquerda, visão externa do calorímetro, numa situação em que as duas massas estão em queda. À direita, visão externa do calorímetro numa situação em que as duas massas estão sendo erguidas.



Fonte: Carmo, Medeiros e Medeiros (2000, p.4).

Joule “[...] realizou um meticuloso e criativo trabalho experimental que levou a comunidade científica a imortalizá-lo ao associar o seu nome à unidade de energia, no sistema internacional de unidades [...]” (PASSOS, 2009, p.6). O apoio de William Thomson, o famoso Lord Kelvin, também contribuiu fortemente para tornar pública as ideias de Joule.

Tendo como premissas os trabalhos originais de Joule, buscaremos verificar como suas ideias relativas ao equivalente mecânico do calor estão sendo apresentadas nos livros didáticos utilizados no Ensino Médio.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA A ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

Para a análise dos livros didáticos de Física do Ensino Médio, utilizamos os pressupostos teóricos da transposição didática, examinando como é abordado o conceito de equivalente mecânico do calor. Como nosso propósito é subsidiar uma possível aplicação didático-pedagógica em sala de aula pelos professores, procuramos escolher livros didáticos de fácil acesso a todos os docentes. A seleção das obras foi feita a partir da leitura de artigos que elencaram os livros de Física mais utilizados, sendo escolhidos diversos estados como Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Paraná, São Paulo e Rio Grande do Norte (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000; SOUZA FILHO, 2004; DEL CARLO, 2007; RESQUETTI, 2007; SANTANA; QUEIROZ, 2007; SOUZA; SOUSA, 2007; ARAÚJO; NONENMACHER, 2009; SOUZA; GERMANO, 2009) e com base no

guia de livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), de 2015, para Física (BRASIL, 2014). Não havendo diferença significativa entre as novas edições e as edições anteriores, optamos por analisar aquelas que podem ser facilmente encontradas em bibliotecas públicas e que ainda são utilizadas por licenciandos para a elaboração de planos de aula. Os livros escolhidos são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 – Livros didáticos selecionados para análise.

| Livros didáticos analisados | | | | |
|-----------------------------|--|---|----------|------|
| Ordem | Título | Autor(es) | Editora | Ano |
| LD1 | Física – v.2 | Luz, A. M. R.; Álvares, B. A. | Scipione | 2005 |
| LD2 | Física – volume único | Sampaio, J. L.; Calçada, C. S. | Atual | 2005 |
| LD3 | Os fundamentos da Física – v.2 | Ramalho Junior, F.; Ferraro, N. G.; Soares, P. A. T. | Moderna | 2003 |
| LD4 | Física em contextos: pessoal, social e histórico – v.2 | Oliveira, M. P. P.; Pogibin, A.; Oliveira, R. C. A.; Romero, T. R. L. | FTD | 2010 |
| LD5 | Física e Realidade – v.2 | Gonçalves Filho, A.; Toscano, C. | Scipione | 2010 |

Fonte: elaborado pela autora.

Ao todo, examinamos cinco coleções do Ensino Médio. No primeiro momento, realizamos uma rápida pesquisa nos livros selecionados a fim de verificar se havia ou não uma abordagem histórica sobre o equivalente mecânico do calor. Na sequência, examinamos como esta vem sendo abordada, se corrobora ou não com as concepções já tidas pelos alunos e quais são as transposições didáticas sofridas pelo conceito.

RESULTADOS OBTIDOS

Buscamos examinar a abordagem histórica realizada pelos livros, comparando as suas afirmações com as contidas nos artigos originais de Joule, a fim de analisar a parte escrita e as figuras do experimento das pás, as quais apresentam inúmeras simplificações que “[...] distorcem por completo a complexidade do experimento de Joule [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.6). Para analisar as figuras, adotamos as oito categorias apresentadas por Carmo, Medeiros e Medeiros (2000) que são: a) presença de uma única massa na figura; b) ausência das pás fixas; c) ausência de um termômetro; d) termômetro muito curto; e) falta de uma manivela; f) ausência de um pino de conexão no eixo de metal das pás móveis; g) inexistência de um isolante no eixo das pás e; h) existência de uma única roldana sustentada por um eixo simples.

Após a análise desses cinco volumes, verificamos que, ao ser abordado pelos livros didáticos, o trabalho de Joule passa por um processo de transposição didática, o que já era esperado, visto que esta é necessária para que os objetos do saber sejam

transformados em objetos de ensino, sendo os autores dos livros didáticos responsáveis por essa transformação (ALVES FILHO, 2000b). Entretanto, o que observamos corrobora com as ideias apresentadas por Alves Filho (2000a), o qual argumenta que existe uma inadequada valorização do aspecto empírico nos materiais didáticos, o que reforça a visão de que é possível “provar” uma teoria somente por meio de experimentos.

Os autores apresentam a história da ciência utilizando posições indutivistas (MARTINS, 2006), alegando, por exemplo, que Joule estabeleceu *definitivamente* que calor é energia. Desse modo, apresentam apenas alguns indivíduos como gênios, que tiraram suas ideias do nada e ignoram o trabalho conjunto da construção científica, enfatizando as concepções ingênuas sobre o trabalho científico, ao atribuir grande importância ao trabalho experimental (MARTINS, 2005; MARTINS, 2006).

Por exemplo, no livro LD1³, de Luz e Álvares, ao fazer uma breve abordagem histórica, citando a teoria do calórico e fazendo a passagem para a ideia de calor como energia, os autores escrevem que alguns cientistas confirmaram as suposições de Rumford sobre o calor ser *movimento*, sendo um deles James P. Joule, “[...] cujas célebres experiências acabaram por **estabelecer, definitivamente, que o calor é uma forma de energia**” (LD1, p.105, grifo nosso).

Conforme a análise histórica, esse advento é uma das prováveis causas do estabelecimento de que calor é energia, mas não a única. Seria interessante deixar claro isso, a fim de que os leitores compreendam que a ciência não é linear, pelo contrário, constitui-se por meio de disputas e contradições. Outro equívoco é dizer que suas experiências estabeleceram *definitivamente* que calor é energia, reforçando a visão empírica de que apenas por meio de um experimento é possível “provar” uma teoria, simplificando o trabalho científico. Desse modo, os autores do LD1 realizam uma **descontextualização** e uma **dessincretização** do saber, buscando trabalhar o tema sem levar em consideração seu contexto histórico, reforçando apenas um fato isolado dos demais. Da forma como é abordada, essa transposição didática não propicia uma compreensão da natureza da ciência.

Nos livros LD2 e LD3, essa concepção empirista da ciência novamente aparece. No material LD2, os autores, Sampaio e Calçada, iniciam o capítulo sobre Calorimetria argumentando que “[...] no início do século XIX já era grande o número de cientistas que acreditavam ser o calor uma forma de energia e não uma substância. **Faltava, porém, um trabalho experimental que comprovasse tal opinião [...]**” (LD2, p.179, grifo nosso).

Uma outra **dessincretização** e **descontextualização**, comum a quase todos os livros didáticos por nós analisados, é a simplificação do trabalho realizado por Joule. Os autores reduzem a história da ciência a nomes e datas ou episódios, como no caso de Joule, ao resumir todo seu trabalho à busca do valor de conversão entre energia e calor, ignorando toda a construção por ele realizada para chegar ao experimento das pás.

³Utilizamos a abreviação LD1 para representar o livro didático 1, de acordo com o Quadro 1 para não confundir o leitor durante o diálogo apresentado entre os livros didáticos e os trabalhos de Joule e demais pesquisadores. O mesmo foi feito com os demais livros didáticos.

No livro LD1, os autores, sem explicar como foi estabelecido esse valor de conversão de calorias para joules, escrevem: “[...] em suas experiências já mencionadas [referindo-se ao estabelecimento de que o calor é uma energia], Joule estabeleceu a relação entre estas duas unidades [...]” (LD1, p.106) e descreve que $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$. Percebe-se que não faz “sentido” essa conversão, pois, em nenhum momento é questionado que calor pode ser transformado em energia mecânica, ou vice-versa, sendo apenas uma constatação trivial. Essa **dessincronização** faz com que o saber seja apenas uma informação inútil, já que não possibilita aos alunos compreender a importância da relação entre energia mecânica e calor. De fato, a linguagem utilizada reforça a concepção de que a ciência é extraída diretamente da natureza e limita os leitores a apenas conhecer os resultados obtidos pela ciência, convencendo-o de sua validade (ALVES FILHO, 2000b).

Na sequência, os autores do LD1 explicam que Joule conseguiu obter “[...] quantos **joules de energia mecânica** seriam necessários transformar para se obter **1 caloria de energia térmica**” (LD1, p.123, grifo nosso). É importante ressaltar que na época em que foi estabelecida essa relação, os termos utilizados e as unidades de medida eram muito diferentes e, buscando tornar o saber usual, os autores utilizam as unidades atuais, **descontextualizando** o saber. Essa transposição didática é importante para que os alunos possam compreender a relação entre energia mecânica e calor, visto que o termo “força mecânica” era utilizado na época de Joule para expressar o que hoje conhecemos como energia mecânica. Além disso, as unidades de medida atualmente utilizadas no Brasil diferem-se, e muito, das utilizadas por Joule no século XIX (libras, pés, Fahrenheit etc.).

O livro LD2 reduz todo o trabalho de Joule a uma simples relação: $1 \text{ caloria} = 4,1868 \text{ joules}$. Podemos nos questionar: que sentido tem essa relação? Abordada desse modo, a resposta é: nenhuma. Ao fazer uma **dessincronização** do saber, em nenhum momento cria-se a possibilidade de pensar sobre o significado desse valor de conversão entre a unidade de quantidade de calor (caloria) e a unidade de energia (joule).

No material LD5, logo no início da discussão, os autores Gonçalves Filho e Toscano brevemente citam que “[...] a unidade **caloria** (cal), apesar de muito utilizada, não pertence ao Sistema Internacional de Unidades (SI) [...]” (LD5, p.41) e, portanto, “[...] podemos converter calorias em joules (que é a unidade de energia no SI), estabelecendo a seguinte relação: **1,0 cal ~ 4,2 J**” (LD5, p.41). Assim, restringem o significado dessa relação a uma mera conversão de unidades, sem se importar com a bagagem teórica que ela implica, **dessincronização e descontextualização** comum a todos os livros por nós analisados.

Segundo Gallagher (1991 apud CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.1), “[...] os livros didáticos têm dedicado quase todo o espaço impresso, à apresentação dos conceitos e princípios da ciência, dando pouca atenção à natureza do conhecimento científico ou como ele tenha sido desenvolvido [...]”. Assim, os livros didáticos quando apresentam uma abordagem histórica o fazem por meio de resumos e apêndices, de forma **descontextualizada e dessincronizada**.

Torna-se evidente, em nossa análise, que o conceito do equivalente mecânico do calor perde seu contexto original, torna-se pessoal para retornar em uma nova

estruturação e organização, de modo que “[...] esse saber passa a ter uma configuração dogmática, ordenada, cumulativa e, de certa maneira, linearizada, tornando-se um saber com uma sequência [sic] lógica [...]” (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2006, p.4). Esse processo de **despersonalização**, **descontextualização** e **dessincretização**, acarreta em um saber “[...] despido de seu contexto epistemológico, histórico e linguagem própria [...]” (ALVES FILHO, 2000b, p.227).

O melhor exemplo encontrado desse processo de transposição didática encontra-se no livro LD4. Os autores buscam trabalhar com a história da natureza do calor. Após discutirem o trabalho de Bacon, Boyle, Stahl e Lavoisier, procuram abordar o trabalho de Benjamin Thompson sobre a perfuração dos canhões. Ressaltam que Joule conseguiu encontrar, por meio de experimentos, o valor para o equivalente mecânico do calor, fortalecendo a teoria do calor como forma de energia.

Os autores buscam estabelecer uma relação entre caloria e joule. Dessa forma, explicam que a unidade de calor é a mesma que a de energia, ou seja, é medido em joule (J). Entretanto, buscam justificar porque existem essas duas unidades: “[...] no passado, quando o calor ainda era considerado uma substância, era medido numa unidade chamada caloria (cal). Por tradição, as duas unidades foram mantidas, ambas servindo como unidade de medida para o calor [...]” (LD4, p.216). Na sequência, colocam que a equivalência entre essas duas unidades é dada por $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.

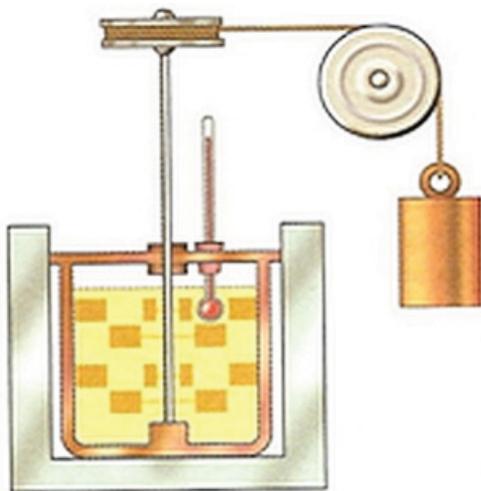
Apesar de ainda não explicarem o contexto histórico, compreendemos que essa é uma alternativa de transposição didática nos quais os processos de **descontextualização** e **dessincretização** são realizados de forma a não omitir totalmente a importância dessa relação, pois os autores ao menos tentam situá-la dentro do contexto da quantidade de calor. Houve uma preocupação em explicar o porquê da equivalência entre essas duas unidades.

Durante nossa análise, foi possível perceber que, além do processo de transposição didática externa, existem diversas simplificações encontradas nas figuras que expressam uma desvalorização das representações visuais, pois a importância dessas “[...] não se deve apenas à possibilidade de comunicação das ideias, mas também porque a compreensão de certos conceitos, em alguns casos, depende de suas visualizações [...]” (CARMO; MEDEIROS; MEDEIROS, 2000, p.1). No nosso exemplo, para compreender como Joule obteve sua famosa relação, é preciso analisar como foi organizado o experimento, sendo necessária uma boa imagem para auxiliar nessa visualização do funcionamento do aparato. Entretanto, o que encontramos nos livros analisados foram figuras com diversas modificações que distorcem a interpretação por parte dos alunos.

Dessa forma, as imagens apresentadas não abrangem as complexidades do experimento em questão, o que dificulta a compreensão dos conceitos envolvidos. Por exemplo, no livro LD1, visivelmente já há inúmeras simplificações na figura apresentada (Figura 2). Joule utiliza dois pesos, a fim de conferir um maior equilíbrio ao sistema, diferente do que nos apresenta o livro, com apenas um peso. Além disso, a figura não deixa explícita a existência das pás fixas, necessárias para ocasionar uma maior turbulência na água, provocando um aumento na temperatura e conseqüentemente, uma maior produção

de calor, contribuindo, também, para que a velocidade de queda do peso fique constante. Outras simplificações são: termômetro muito curto, incapaz de aferir as pequenas variações ocorridas de temperatura com a precisão requerida por Joule; a falta de uma manivela, necessária para girar o conjunto de pás; ausência de um pino de conexão no eixo de metal das pás móveis, necessário para que esse seja desconectado a fim de impedir o giro das pás durante a elevação das massas, evitando considerar a energia despendida para a referida operação; não apresenta o isolante no eixo das pás, necessário para diminuir a propagação de calor e, por último, a utilização de uma roldana sustentada por apenas um eixo simples, negligenciando a complexidade do sistema de suspensão dos pesos. Percebe-se, então, que a figura contém inúmeras simplificações, o que não permite ao aluno compreender corretamente os procedimentos adotados por Joule, mantendo apenas a visão simplista de que basta o “peso” cair para que a temperatura da água sofra um acréscimo.

FIGURA 2 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático



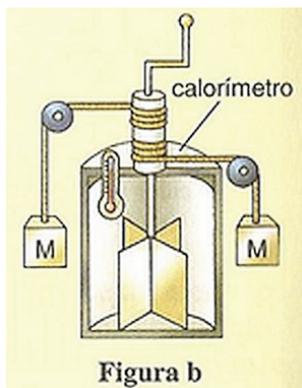
Fonte: Luz e Álvares (2005, p.124).

Por consequência, os autores ao descreverem o procedimento adotado por Joule simplificam sua explicação em conformidade com a figura, ignorando os mesmos aspectos já supracitados. Não há uma preocupação com os detalhes fundamentais para que Joule conseguisse obter o valor do equivalente mecânico do calor.

Na figura apresentada no LD2 (Figura 3), apesar de conter duas massas, as pás fixas (que são de grande importância) estão omitidas e o termômetro indicado é muito curto, mostrando-se incapaz de aferir com precisão as variações na temperatura. Além disso, apresenta uma manivela fixa, ou seja, não há o pino de conexão do eixo das pás móveis, utilizado para rebobinar o fio desconectando-se das pás. Por fim, não deixa clara a existência de um isolante no eixo de metal das pás fixas e apresenta as roldanas

sustentadas em apenas um ponto. Nos demais materiais didáticos analisados, essas simplificações se repetem.

FIGURA 3 – Esquema do dispositivo apresentado no livro didático.



Fonte: Sampaio e Calçada (2005, p.180).

Desse modo, os resultados por nós obtidos se aproximam dos encontrados por Carmo, Medeiros e Medeiros (2000), ou seja, também encontramos um grande número de simplificações nas apresentações do equivalente mecânico do calor pelos livros didáticos. Desde a atribuição de um papel crucial à experiência de Joule, argumentando erroneamente que esse “provou” que a teoria do calórico estava equivocada, ignorando dessa forma, toda a discussão travada ao longo de anos sobre a natureza do calor, até a redução desse mesmo experimento ao mero cálculo do valor numérico do equivalente mecânico do calor.

Por fim, a transposição didática é um elemento indispensável, pois possibilita os saberes serem ensináveis (ALVES FILHO, 2000b). Portanto, cabe ao professor “[...] criar um ‘cenário’ menos agressivo ao dogmatismo apresentado pelos livros textos e minimizar a diferença entre os tempos didático e de aprendizagem [...]” (ALVES FILHO, 2000b, p.234).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A História da Ciência é considerada por diversos autores como uma importante ferramenta no ensino de Física (CARVALHO, 1989; MATTHEWS, 1995; MARTINS, 2006). A compreensão desta auxilia no processo de ensino-aprendizagem, pois parte do princípio de que as resistências que os alunos trazem para a sala de aula se aproximam das dos próprios cientistas do passado; e, muitas vezes, são semelhantes às que foram aceitas em outros tempos pela comunidade científica (PIAGET, 1970; MARTINS, 2006).

Nessa perspectiva, acreditamos que o conhecimento dos trabalhos de Joule é de grande valia, pois capacita o professor a compreender as dificuldades históricas existentes no estabelecimento da teoria dinâmica do calor, tornando-o capaz de elaborar estratégias para o ensino desse conceito físico.

Apesar disso, estamos conscientes de que, infelizmente, a grande maioria dos professores não apresenta interesse ou competência suficiente em história da ciência e transmitem, conseqüentemente, uma visão distorcida do trabalho científico para seus estudantes ao mostrar que é possível obter uma teoria unicamente a partir de uma observação experimental, ou ainda, que é possível “provar” uma teoria, apesar disso ser filosoficamente impossível. Isso ocorre porque, ao se tentar inserir a história da ciência em sala de aula como instrumento para aperfeiçoar o ensino, a grande maioria dos professores utiliza como subsídio teórico os livros didáticos (MARTINS, 2006).

Os livros didáticos “[...] ‘põe sob os olhos’ os conhecimentos considerados válidos, ocultando as polêmicas que os geraram e geram, dando a impressão de que se está frente a algo definitivo e inquestionável [...]” (MAZZOTTI, 2005, p.4). Essa atitude afasta o exercício da razão, uma vez que não torna possível questionar esses conhecimentos compendiados, tornando o saber escolarizado “[...] uma expressão de lições fechadas ou dogmas, [...] o oposto da atitude científica” (MAZZOTTI, 2005, p.4).

Essas críticas ficaram evidentes em nossa análise de como os livros didáticos abordam o conceito de equivalente mecânico do calor. Os autores reduzem a história da ciência a nomes e datas ou episódios, como no caso de Joule, ao resumir todo seu trabalho a simples busca do valor de conversão entre energia e calor, ignorando toda a construção realizada para chegar ao experimento das pás. Além disso, os autores apresentam a história da ciência utilizando posições indutivistas (MARTINS, 2006), alegando, por exemplo, que Joule estabeleceu *definitivamente* que calor é energia. Assim, reforçam:

[...] a imagem de um cientista neutro e objetivo, que conduz sua pesquisa alheio à interferência de qualquer gênero; a visão da ciência como um conhecimento cumulativo e linear; a ideia de que existem ‘fatos’ independentes de pressupostos teóricos; a crença em um procedimento fixo que leva o cientista à realidade fiel do mundo natural, demarcando assim as intransponíveis fronteiras entre a ciência e a não ciência. (MELO, 2005, p.155)

Desse modo, apresentam apenas alguns indivíduos como gênios, que tiraram suas ideias do nada e ignoram o trabalho conjunto da construção científica, enfatizando as concepções ingênuas sobre o trabalho científico, ao atribuir grande importância ao trabalho experimental (MARTINS, 2005; MARTINS, 2006). Dessa forma, cabe ao professor:

[...] o papel de criar um “cenário” menos agressivo ao dogmatismo apresentado pelos livros textos. Mesmo submetido às pressões dos grupos de sua esfera, o professor deve buscar a criação de um ambiente que favoreça o rompimento com

a imagem neutra e empirista da Ciência, veiculada através dos manuais e livros didáticos [...]. (ALVES FILHO, 2000a, p.178)

Esperamos, com esse trabalho, ter fornecido novos elementos para a discussão sobre a importância de se inserir adequadamente a história da ciência no ensino de Física. Ao mesmo tempo, desejamos que os resultados dessa pesquisa sirvam de alerta para aqueles professores que utilizam como referencial teórico, sem uma devida análise crítica, os textos apresentados nos livros didáticos de Física. Em suma, “[...] se não é possível, em curto prazo, modificar os livros didáticos, faz-se necessário que os professores se posicionem de modo crítico a eles, não os considerando como uma partitura que deve ser seguida à risca [...]” (GOMES, 2012, p.179), pois não é suficiente apresentar as teorias do passado apenas como curiosidades históricas, é preciso ir além, para possibilitar uma compreensão mais significativa e uma visão mais crítica de como se faz a ciência.

REFERÊNCIAS

- AGRANIONIH, N. T. A teoria da transposição didática e o processo de didatização dos conteúdos matemáticos. *Educere*, Toledo, v.1, n.1, jan./jun. 2001.
- ALMEIDA, G. P. *Transposição didática: por onde começar?* 2.ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao Laboratório Didático. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.17, n.2, p.174-188, ago. 2000a.
- _____. *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. 2000. 302f. Tese (Doutorado em Educação: Ensino de Ciências e Ciências Naturais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000b.
- ARAÚJO, M. C. P.; NONENMACHER, S. Energia: um conceito presente nos livros didáticos de Física, Biologia e Química do Ensino Médio. *Poiésis*, v.2, n.1, p.1-13, 2009.
- BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. de. A história da ciência iluminando o ensino de visão. *Revista Ciência & Educação*, v.5, n.1, p.83-94, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Guia de livros didáticos: PNLD 2015: Física: Ensino Médio*. Brasília: MEC, 2014.
- BUCUSSI, A. A. *Projetos curriculares interdisciplinares e a temática energia*. 2005. 267f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- CARDWELL, D. S. L. *James Joule: A biography*. Manchester: Manchester University Press, 1989.
- CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro das pás. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000, Florianópolis. *Atas...* Florianópolis: EPEF, 2000.
- CARVALHO, A. M. P. de. *Física: proposta para um ensino construtivista*. São Paulo: EPU, 1989.

CHEVALLARD, Y. Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v.3, n.2, pág. 1-14, maio/ago. 2013.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Um módulo sobre a radioatividade: sua história e sua transposição didática. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Org.). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRN, 2012, p.183-210.

DEL CARLO, S. *Conceitos de Física na Educação Básica e na Academia: Aproximações*. 2007. 106f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GARDELLI, D. *Concepções de Interação Física: Subsídios para uma Abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio*. 2004. 127f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GOMES, L. C. *Representação social dos autores dos livros didáticos de física sobre o conceito de calor*. 2012. 199f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

GONÇALVESFILHO, A.; TOSCANO, C. *Física e realidade*. Vol. 2. São Paulo: Scipione, 2010.

JOULE, J. P. *The scientific papers of James Prescott Joule*. London: The Physical Society of London, 1884.

KIOURANIS, N. M. M.; SOUZA, A. R.; SANTIN FILHO, O. Alguns aspectos da transposição de uma sequência didática sobre o comportamento de partículas e ondas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v.9, n.1, p.199-224, 2010.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, S. S. Um estudo a respeito das concepções alternativas sobre calor e temperatura. *Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências*, v.2, n.3, p.25-35, 2002.

LIBÂNEO, J. C. *Didática*. São Paulo: Cortez, 1994.

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. *Física*. Vol. 2. São Paulo: Scipione, 2005.

MAGALHÃES JÚNIOR, C. A. O. *Formação continuada em meio ambiente: transposição didática e representações sociais*. 2011. 70f. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

MARTINS, L. A. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v.11, n.2, p.305-317, 2005.

MARTINS, R. A. Introdução. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p.xxi-xxxiv.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. Tradução: Claudia Mesquita de Andrade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.12, n.3, p.164-214, dez. 1995.

MAZZOTTI, T. B. *Didacografia, a arte de ensinar tudo a todos*. Comunicação on-line. Disponível em: <tmazzotti@mac.com>. Acesso em: 26 set. 2005.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação*, v.9, n.2, p.147-157, 2003.

MELO, A. C. S. de. *Contribuições da epistemologia histórica de Bachelard no estudo da evolução dos conceitos da óptica*. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MONTEIRO, M. A. *Discursos de professores e livros didáticos de física do nível médio em abordagens sobre o ensino da física moderna e contemporânea: algumas implicações educacionais*. 2010. 440f. Tese (Doutorado em Educação para as Ciências) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

MONTEIRO JUNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. J. G. Síntese ou distorção: como os livros didáticos apresentam o conceito de timbre? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. *Atas...* Valinhos: ABRAPEC, 1999. p.1-15.

OLIVEIRA, A. D. *Biodiversidade e museus de ciências: um estudo sobre transposição museográfica nos dioramas*. 2010. 173f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, M. P. P. et al. *Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia calor, imagem e som*. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2010.

PAGLIARINI, C. R. *Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio*. 2007. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Física Básica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.31, n.3, p.1-8, 2009.

PIAGET, J. *Genetic Epistemology*. Tradução: Eleanor Duckworth. New York: Columbia University Press, 1970.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. *Os fundamentos da Física*. 8.ed., v.2. São Paulo: Moderna, 2003.

RESQUETTI, S. O. *Como se movem os projéteis nos livros didáticos de Física e no vestibular? Inquirindo o Galileu sintético de hoje*. 2007. 182f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. *Física*. 2.ed., Volume Único. São Paulo: Atual, 2005.

SANTANA, R. P.; QUEIROZ, G. R. P. C. A influência da pesquisa em ensino de Física nos livros didáticos do ensino médio: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., São Luis. *Atas...* São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

SILVA, D. P. G. da. *O ensino de energia e o livro didático de física: um olhar através do construtivismo humano*. 2012. 223f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SILVA, O. H. M. da; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.25, n.3, p.383-396, dez. 2008.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A transposição didática aplicada a teoria contemporânea: a Física de partículas elementares no Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10., 2006, Londrina. *Anais...* Londrina: EPEF, 2006, p.1-10.

SOUZA FILHO, M. P. *Livros didáticos de Física para o Ensino Médio: uma análise de conteúdo das práticas de eletricidade e eletromagnetismo*. 2004. 133f. Dissertação (Mestrado em Educação Para a Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2004.

SOUZA, A. M.; GERMANO, A. S. M. Análise de livros didáticos de Física quanto a suas abordagens para o conteúdo de Física Nuclear. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., Vitória. *Atas...* Vitória: Sociedade Brasileira de Física, p.1-10, 2009.

SOUZA, D. F.; SOUSA, F. F. Análise nos livros de Física adotados no município de Altamira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., São Luis. *Atas...* São Luis: Sociedade Brasileira de Física, 2007.

VALENTE, M. J. P. *Uma leitura pedagógica da construção histórica do conceito de energia: contributo para uma didáctica crítica*. 1999. 603f. Tese (Doutorado em Ciências da Educação) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Secção de Ciências da Educação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1999.