

Os Livros Didáticos de Física e Suas Omissões e Distorções na História do Desenvolvimento da Termodinâmica

RODRIGO BALDOW¹ e FRANCISCO NAIRON MONTEIRO JR²

¹Colégio Barra da Jangada PE, (rodrigobaldow@gmail.com)

²Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco (naironjr@ded.ufrpe.br)

Resumo. A Termodinâmica é vista neste artigo com um olhar histórico, no qual fizemos uma leitura do seu desenvolvimento ao longo dos séculos XVIII e XIX, destacando tanto as contribuições dos mais conhecidos personagens deste período, mas também daqueles menos conhecidos e de outros até completamente esquecidos por professores e pelos livros didáticos. Analisando o período histórico da revolução industrial durante o século XIX, ressaltamos como os fatores sociais, políticos e econômicos influenciaram o desenvolvimento daquela ciência, principalmente no tocante ao desenvolvimento das máquinas a vapor. Com base neste referencial, fizemos uma análise de cinco dos livros didáticos de ensino médio mais utilizados em nossas escolas, identificando as omissões e distorções presentes nas apresentações do tema em questão em tais textos, evidenciando um uso ingênuo e distorcido da história da ciência no ensino da ciência.

Abstract. Thermodynamic is seen in a historical perspective in this article, where we study its development throughout the XVIII and XIX centuries, pointing out the contributions of both the most well-known personalities of this period and the less known ones, as well as even of those who were completely forgotten by teachers and textbooks. Analysing the historical period of industrial revolution during the XIX century, we emphasize how social factors, politics and economics have influenced the development of this science, mainly concerning the development of steam-engines. Based on these references, we analyse the five most high school textbooks that to be used at brazilian schools, identifying the omissions and distortions presented in each presentation of those themes in the books and showing an ingenuous and disrupt use of the history of science in science teaching.

Palavras-chave: História da Ciência, Termodinâmica Livros Didáticos

Key words: History of the Science, Thermodynamics, Textbooks

Introdução

A história da ciência constitui-se numa matéria importante na formação do aluno, uma vez que pode levar à reflexão não apenas sobre os estatutos da ciência, mas também sobre seus processos, seu desenvolvimento. Por outro lado, pode ainda revelar interessantes imbricações sócio-políticas e econômicas.

Muito embora o conhecimento histórico seja ferramenta importante no desenvolvimento de uma visão crítica acerca das relações CTS no ensino de física, a grande maioria dos livros didáticos não emprestam a devida importância. Mesmo consistindo numa importante diretriz dos PCNs, o uso da história tem sido negligenciado e, às vezes reduzido a um modo factual, ilustrativo, onde muitos dos personagens que tiveram importantes contribuições no seu desenvolvimento se quer são citados e tais feitos se quer são do conhecimento dos professores.

É dentro desta perspectiva que se insere a presente pesquisa, onde procuramos evidenciar as distorções e omissões presentes nas representações textuais de cinco dos mais utilizados livros didáticos de física para o ensino médio com respeito ao desenvolvimento histórico da termodinâmica e, em particular, a máquina à vapor.

A revolução industrial

Da segunda metade do século XVIII à primeira metade do século XIX foi o período no qual aconteceu um grande avanço das indústrias, o que resultou num aumento da produção e da qualidade dos produtos industrializados. Este período é chamado de Revolução Industrial e teve como país pioneiro a Inglaterra. É a passagem da manufatura à maquinofatura, do sistema doméstico para o de fábrica.

No novo sistema a produção era dividida em setores para cada especificidade do material produzido (HUBERMAN, 1959). Este período é o início da fase do capitalismo industrial, com o empregado assalariado e com carga horária ultrapassando, muitas vezes, as 14 horas diárias. Investia-se na produção e os donos das fábricas tinham como objetivo lucrar cada vez mais (MANTOUX, 1927).

A Inglaterra passou a ser a grande potência mundial. Ela era chamada de “Oficina do Mundo”. Outros países depois começaram a se industrializar. Primeiramente a Bélgica, Alemanha, França e os Estados Unidos, e, depois, outros como Espanha, Portugal e Japão. No Brasil este processo só chegou no século XX (IGLESIAS, 1990).

No período da Revolução Industrial, os setores que mais se desenvolveram foram a indústria pesada (mineração e a metalúrgica), as máquinas a vapor e a indústria têxtil (MANTOUX, 1927).

Dentro deste processo de avanço tecnológico houve, paralelamente, um avanço das ciências, principalmente da física e da química, pano de fundo de tal evolução. O desenvolvimento das máquinas passaria, necessariamente, pelo desenvolvimento das ciências afins. Sem dúvida, tal desenvolvimento era primordial à melhoria do funcionamento das diversas máquinas, ao aumento dos seus rendimentos de trabalho. A revolução industrial constituiu-se, sem dúvida, num dos principais fatores externalistas para o desenvolvimento da física e, em particular, da termodinâmica nos séculos XVIII e XIX. Contudo, a despeito de toda esta leitura da relação entre ciência e sociedade, no contexto em questão, muitos dos textos didáticos omitem e até distorcem este período, construindo uma história factual, simplificada e ilustrativa, desvinculada desta análise crítica. Apresentam, quase sempre, uma ciência montada num pequeno número de ‘gênios’, omitindo muitos dos personagens que contribuíram para o desenvolvimento dos conceitos e teorias da física, cometendo, inclusive distorções da importância jogada pelas máquinas termodinâmicas neste período. Tais falhas serão discutidas ao longo do artigo.

A Teoria do Calórico

A máquina a vapor foi muito importante para o desenvolvimento da Termodinâmica. Contudo, na época em que se deu a construção destas máquinas existia outra teoria termodinâmica, a teoria do calórico, cujos estatutos eram discordantes com os estatutos do modelo científico vigente. Esta teoria explicava que o calor era uma substância fluida, que permeava os corpos e que era indestrutível e que não podia ser criada. O trânsito do calor entre dois corpos era explicado em termos do fluxo desta substância entre eles. Com essa teoria chegou-se a vários modelos teóricos como os da calorimetria. Mas foi só no século XVIII que os conceitos de temperatura e calor foram diferenciados, já que muitas vezes, eram vistos de formas parecidas. Foi o médico e químico escocês Joseph Black (1728-1797), o primeiro a distingui-los. Ensinava que a temperatura era a tensão exercida pelo fluido calórico no interior de um corpo (MEDEIROS, 2007). Segundo Medeiros (1999), tal estudo constitui numa importante contribuição para o desenvolvimento das idéias de calor latente e capacidade térmica.

Em 1798, o Conde Rumford (1753-1814), nascido nos Estados Unidos, cujo nome era Benjamin Thompson, contestou a idéia do calórico. Quando estava trabalhando na Alemanha, na perfuração de canhões, ele observou que quando a broca estava gasta, produzia mais calor do que quando estava afiada, o que desafiava um princípio lógico da teoria do calórico. Na verdade, quando parte da massa de um corpo era arrancada, este aquecia pela liberação do calórico ali contido. Contudo, ele observou que quando a broca estava ‘cega’, era neste momento que o metal aquecia mais, ou seja, liberava mais calor e não quando a broca estava afiada, como era previsto pela teoria do calórico. Ele chegou à conclusão que o calor só podia ser uma forma de movimento mecânico. E assim a teoria da dinâmica do calor foi ganhando mais adeptos (MASON, 1964).

O químico inglês Humphry Davy (1778-1829) foi uma das pessoas que apoiou Rumford. Davy realizou um interessante experimento no qual mostrou a produção do calor através do movimento, no ano de 1799. De posse de dois pedaços de gelos, começou a esfregá-los até eles derreterem (WILSON E OS EDITORES DE LIFE, 1968).

As Máquinas a Vapor e o Desenvolvimento da Termodinâmica

Por volta do ano 120 a.C.¹, Heron de Alexandria inventou uma máquina que era movida a vapor (figura 1) (ENGELS, 1979; DE PÁDUA et al, 2009). Esse aparelho, tecnicamente, chegou

¹ Não há consenso entre os historiadores sobre a precisão da referida data. De Pádua et al (2009), por exemplo, atribui à invenção o ano de 100 d.C.

perto de uma máquina a vapor. Como na época a mão de obra escrava era farta e barata, não houve interesse em criar uma máquina que substituísse seu trabalho (MEDEIROS, 1999).

Figura 1: Máquina de Heron

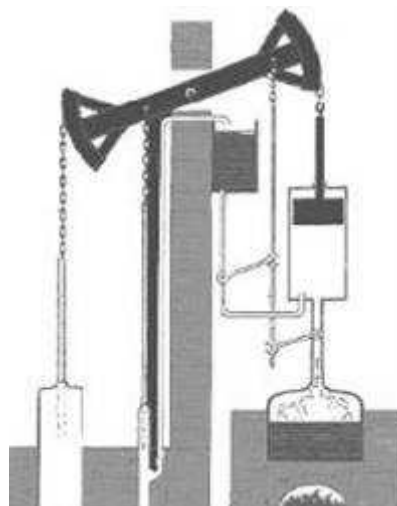


Em 1690 o físico Francês Denis Papin (1647-1712) idealizou os princípios de funcionamento de uma máquina a vapor. Segundo ele, “desde que é propriedade da água que uma pequena quantidade dela torna-se vapor pelo calor e que tem uma força elástica como a do ar, mas que sucede pelo frio ser novamente transformada em água, de maneira a que não fiquem traços da dita força elástica, concluí que podem ser construídas máquinas enquanto água, com auxílio de calor não muito intenso e com pequeno custo, poderia produzir o perfeito vácuo, que não se poderia obter por meio da pólvora” (PAPIN APUD FORBES, 1958, pág. 100)

Apesar de ele ter construído uma máquina térmica, ela não teve uso prático. Contudo seus estudos em torno das máquinas influenciou futuros inventores (FORBES, 1958).

O engenheiro Thomas Savery (1650-1716) foi o primeiro a construir uma máquina a vapor de utilidade prática, no ano de 1698. Ela ficou logo conhecida como “Amiga do Mineiro” devido a ser de grande utilidade nas minas, na facilitação e substituição de algumas atividades manuais. Em 1712, o ferreiro e mecânico Inglês Thomas Newcomen construiu o primeiro motor Newcomen (Figura 2). Nele, quando aquecia-se a água na caldeira, o vapor adentrava no cilindro e movia o êmbolo para cima. A força motora era, então, gerada pela pressão do vapor de água. Tal princípio de funcionamento é ainda hoje largamente utilizado em muitos sistemas mecânicos cuja energia de movimento é gerada por caldeiras a vapor de água. Seria o caso, por exemplo, das caldeiras utilizadas nas usinas de açúcar e álcool. Na máquina de Newcomen, o vapor d’água era condensado por um jorro de água fria que recebia dentro do cilindro e com isso o êmbolo descia (FORBES, 1958). Assim completava-se o ciclo de funcionamento deste sistema mecânico.

Figura 2: Máquina de Newcomen



No ano de 1763, o engenheiro Escocês James Watt (1736 - 1819) que trabalhava numa oficina e era fabricante de instrumentos da universidade de Glasgow, teve pela primeira vez contato com uma máquina de Newcomen. Ele recebeu um modelo da máquina para consertar, pertencente ao professor John Anderson que trabalhava na mesma universidade (SPROULE, 1992). Ele percebeu que quando o vapor era resfriado no cilindro, perdia-se parte da energia, diminuindo, conseqüentemente o seu rendimento. O vapor passou a ser resfriado num condensador, feito por Watt, num local reservado da máquina. Interessando-se pela pesquisa no melhoramento das máquinas a vapor, Watt construiu sua primeira máquina, em 1769. Em 1792, construiu outra mais eficiente inda que possuía sistema de engrenagens que tinham movimentos rotativos e que foram chamados de sol-e-terra (FORBES, 1958). Sua máquina foi bastante utilizada nas fábricas. Tais inovações seriam fundamentais nos desenvolvimentos posteriores que tais máquinas sofreriam. Contudo, para a construção de tais máquinas, era necessário um alto investimento financeiro. John Roebuck (1718-1794) e depois Mathew Boulton (1728-1809) investiram na construção de tais máquinas (SPROULE, 1992).

Watt chegou a esboçar um gráfico de pressão do vapor x volume útil do cilindro numa máquina a vapor em suas experiências através de um manômetro registrador, mas não deduziu muita coisa do gráfico. Esse manômetro foi redescoberto em 1834, pelo o engenheiro francês Émile Clapeyron (1799-1864) que percebeu que área fornecida no gráfico: pressão x volume era uma estimativa do trabalho que a máquina realizava num ciclo, uma idéia até então não proposta. Olhando esses motores, percebeu que podia encontrar seu rendimento fazendo uma relação entre o trabalho executado por ele pela quantidade de calor cedida nesse processo. (MASON, 1964). Assim pôde-se calcular este rendimento.

$$R = \frac{W}{Q}$$

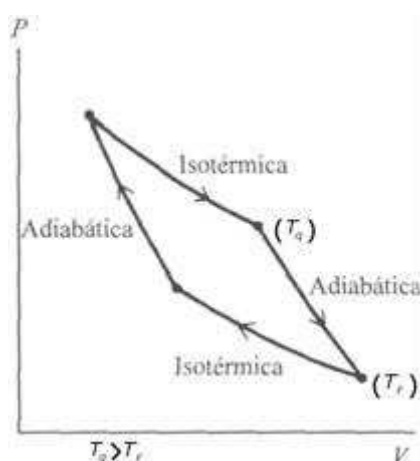
Porém o primeiro a deduzir idéias teóricas sobre a máquina a vapor foi o engenheiro Francês Sadi Carnot (1796-1832) que no ano de 1824 publicou o livro com o título “Reflexões sobre a Força Motriz do Fogo”. No texto, Carnot afirmava que o motor térmico que trabalhava em ciclos tinha que ter temperaturas diferentes e cuja diferença iria indicar seu rendimento. O calor produziria trabalho se tivesse uma fonte mais quente e uma mais fria. Está idéia é conhecida como “Princípio de Carnot” (MASON, 1964). O rendimento térmico da máquina de Carnot seria proporcional à diferença entre as temperaturas absolutas e pode ser expresso da seguinte forma:

$$R = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

T_f é a temperatura da fonte mais fria e T_q é a temperatura da fonte mais quente.

Carnot observou que na máquina existiam algumas perdas de energia que diminuam seu rendimento, tal como a perda de calor num processo que ocorra entre temperaturas diferentes e o atrito do pistão com o cilindro. Idealizou uma máquina sem os problemas térmicos e mecânicos identificados (WILSON E OS EDITORES DE LIFE, 1968). Ela segue um ciclo que é chamado de “Ciclo de Carnot”, cuja representação P×V está expressa na figura 3.

Figura 3: Ciclo de Carnot



Carnot morreu em 1832. Várias obras de sua autoria não foram publicadas. Mais tarde, Clapeyron ajudou a divulgá-las e, conseqüentemente, atribuir a ele o devido crédito (MASON, 1964).

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Houve ainda diversos outros personagens que tiveram grande importância o desenvolvimento da ciência da termodinâmica. Dentre eles, poderíamos citar o alemão Friedrich Mohr (1806-1879) defendia a idéia de que as formas de energia eram forças mecânicas, o médico e físico alemão Hermann Helmholtz (1821-1894) defendeu que a energia total do universo era constante e que as diversas formas de energia poderiam transformar-se umas nas outras (MASON, 1964). Citaríamos ainda o cientista amador Inglês James Prescott Joule (1818-1889) que na década de 1840 fez vários experimentos que mostravam a conservação da energia e a conversão entre várias delas, chegando ainda a uma relação quantitativa entre o calor e a energia mecânica cujo valor muito se aproxima da relação atual, cujo valor é $1 \text{ Cal} = 4,18 \text{ J}$ (MASON, 1964; DE PÁDUA et al, 2008).

Não foi por acaso que os primeiros modelos teóricos relativos ao estudo sobre as máquinas térmicas tenham sido elaborados por cientistas franceses e que a comprovação experimental da conversão quantitativa do calor em energia mecânica ou o inverso, tenha sido realizada por um cientista inglês. Na França, o modo de fazer pesquisa científica era mais teórica devido à influência do filósofo Francês René Descartes (1596-1650). Na Inglaterra, por sua vez, era mais experimental devido à influência filósofo inglês Francis Bacon (1561-1626) (MASON, 1964). A influência empirista baconiana conferia à prática científica inglesa uma grande importância a experimentação e ao processo indutivo-dedutivo na construção das ‘verdades’ da ciência. Muito embora esta tendência empiricista encontrada nas contribuições inglesas e teóricas, encontradas na termodinâmica francesa, não reflete o que aconteceu no desenvolvimento histórico de outras áreas da ciência. Por exemplo, na mecânica e no eletromagnetismo, enquanto os ingleses fizeram importantes sínteses teóricas (Newton e Maxwell respectivamente), cientistas franceses tais como Gay-Lussac, Mariotte e Petit deram contribuições experimentais de monta no desenvolvimento da termodinâmica. No caso do desenvolvimento da teoria concernente ao movimento ondulatório, tanto ingleses quanto franceses deram contribuições teóricas importantes tais como, Lagrange, Daniel Bernouli e D'Alembert.

É interessante destacar também que o médico Alemão Julius Robert Mayer (1814-1878) também chegou a uma relação entre a quantidade de calor e a energia mecânica ($1 \text{ cal} = 3,56 \text{ J}$) (MOORE, 1976; DE PÁDUA et al, 2008). Ele verificou que a razão entre o trabalho realizado num ciclo de máquina térmica dividido pela quantidade de calor total trocado com o meio nesse ciclo (na mesma) resultava sempre numa constante (Princípio da Equivalência). Se os valores usados forem em Joule, nesta relação chegar-se-á a duas expressões importantes:

$$\frac{W}{Q} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Numa viagem de navio indo para os trópicos (ilha de Java), Mayer atendendo seus pacientes, percebeu que o sangue venoso deles era de uma coloração vermelha mais forte que as dos europeus. Como o local em que estava tinha uma temperatura média mais alta do que sua região, supôs que ali o organismo dos nativos produzisse menos calor para suprir suas perdas do que os dos europeus. O sangue arterial teria que desoxidar mais nos europeus do que nos nativos. Passou a fazer uma relação desse calor com a energia química da alimentação. Assim como com a energia mecânica. Começou a pensar e a defender que essas energias se convertiam entre si (DE PÁDUA et al, 2009). Também na conservação da energia no universo (WILSON E OS EDITORES DE LIFE, 1968).

Carnot, Mayer e Joule influenciaram o matemático, físico e engenheiro Irlandês Lord Kelvin (1824-1907), cujo nome verdadeiro é William Thomson, e o físico Alemão Rudolph Clausius (1822-1888). Observando o funcionamento da máquina eles chegaram à conclusão de que o calor gerado na máquina a vapor era perdido e não se transformava em trabalho. Perceberam que uma parte do calor era constante e que a dividindo pela temperatura da fonte térmica, resultava numa constante que foi chamada por Clausius de: Entropia. Percebendo que na natureza os processos espontâneos eram irreversíveis, Clausius enunciou a segunda lei da Termodinâmica da seguinte forma (MASON, 1964): “A entropia do universo tende a um máximo” (Clausius apud MASON, 1964, pág. 405). Tal afirmação sobre o que chamou de entropia foi, contudo, enunciada pelo próprio Clausius, em 1850, da seguinte forma: “É impossível que uma máquina frigorífica que trabalhe ciclicamente transfira energia como calor, de um corpo frio para outro quente, sem que um agente externo realize trabalho” (CLAUSIUS APUD DE PÁDUA et al, 2009, pág. 102). Kelvin enunciou assim: “É impossível que uma máquina térmica, operando em ciclo, remova calor do reservatório quente e o converta completamente em trabalho sem provocar outros efeitos” (KELVIN APUD DE PÁDUA et al, 2009, pág. 104).

A equivalência que Mayer encontrou entre o calor e o trabalho foi chamada por Clausius de primeira lei da Termodinâmica e assim a enunciou (NOGUEIRA, 2003): “Em todos os processos cíclicos em que o calor produz trabalho, consome-se uma quantidade de calor igual ao trabalho produzido, e vice-versa, ao gastar uma certa quantidade de trabalho, obtém-se uma mesma quantidade de calor” (CLAUSIUS APUD NOGUEIRA, 2003).

$$\Delta E = Q - W \rightarrow \Delta E = 0 \rightarrow Q = W$$

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

Apesar de observar que espontaneamente o calor não fluía da fonte mais fria para mais quente, Kelvin fez uma máquina que podia realizar tal processo, só que não de forma espontânea. Tal máquina, chamado de refrigerador, necessitava de uma energia mecânica externa motora para o seu funcionamento (MASON, 1964).

Vemos pelas contribuições citadas até agora que o desenvolvimento da ciência da termodinâmica se deveu a diversos personagens, que o processo de construção foi lento e que a termodinâmica só veio a consolidar como ciência na década de 1850. Na Figura 4, temos uma linha do tempo do desenvolvimento da termodinâmica na qual estão presentes tanto os principais personagens deste período quanto alguns dos principais conhecimentos abordados e das máquinas a vapor citados no texto.

Figura 4: Linha do Tempo do Desenvolvimento da Termodinâmica



Transportes a vapor, máquinas têxteis, indústria metalúrgica e a de mineração

Com o desenvolvimento dos motores a vapor, tornou-se possível o desenvolvimento de transportes com esses motores, tais como a carruagem desenvolvida pelo Inglês Richard Trevithick em 1801, a locomotiva desenvolvida pelo Inglês Richard Trevithick em 1804 (FORBES, 1958) e barco desenvolvido pelo Estadunidense John Fitch em 1787 (GARTMANN, n/d).

Outras máquinas mais eficazes foram desenvolvidas para a indústria têxtil, aumentando sua produtividade. A lançadeira volante foi construída por John Kay 1733 (MANTOUX, 1927). Em 1764, foi construída a máquina de fiar chamada Spinning-Jenny por James Hargreaves (1720-1778). Em 1768, a Water-Frame pelo Inglês Richard Arkwright (1732-1792). Em 1779, a Mule-Jenny pelo inglês Samuel Crompton. Tais máquinas, que eram feitas de madeira na época, passaram a usar o ferro como matéria prima, tornando-as mais resistentes e duráveis. A criação dos trens a vapor e das estradas de ferro impulsionou o progresso das indústrias metalúrgicas e de mineração. Tais máquinas utilizavam-se também do carvão mineral como fonte combustível (CANÊDO, 1994).

No século XIX aconteceu uma outra revolução industrial que teve a eletricidade, o petróleo e os avanços químicos como os mais importantes processos impulsionadores (IGLESIAS, 1990). O desenvolvimento dos geradores de energia elétrica e dos motores a combustível fóssil geraram uma nova corrida tecnológica impulsionada agora não só pela termodinâmica, mas também pelo desenvolvimento do eletromagnetismo e da química industrial, responsável pelas novas fontes de energia do mundo moderno.

As máquinas foram fundamentais para que as indústrias começassem a dominar o mercado. Elas continuam se desenvolvendo. Agora são as grandes empresas e os bancos que passaram a dominar o setor industrial. Estamos agora na fase do capitalismo financeiro. O mundo é um grande mercado que a todo tempo os países estão fazendo acordos de compras e vendas de seus produtos e de suas matérias primas. A globalização chegou. Contudo tal análise, posterior ao tema discutido neste artigo, ficará para uma análise futura.

História do desenvolvimento da Termodinâmica em alguns livros didáticos de Física

Na grande maioria das vezes os livros didáticos constituem-se no primeiro contato dos estudantes com a ciência estudada. O livro didático é a grande ponte de ligação entre o aluno e a ciência. Tais livros servem como referências para os alunos e são quase sempre utilizados pelos professores nas suas aulas. Na escola tradicional, tal instrumento possui uma importância central, sendo a fonte da ‘verdade’, o discurso inquestionável dos estatutos científicos. Sendo desta forma,

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

os autores poderiam utilizar-se da história da ciência como um poderoso recurso didático, desde que fosse considerada de uma forma mais crítica. Infelizmente, os livros fazem, na maioria das vezes inserções factuais, ilustrativas, não mergulhando na análise crítica do desenvolvimento dos conceitos científicos, na influência do contexto sócio-político de cada época nos caminhos da pesquisa científica, nem ao menos como fonte de busca de subsídios no desenvolvimento de aulas experimentais calcadas em aparatos que fizeram parte do desenvolvimento das diversas teorias científicas. Tal postura levaria possivelmente a um maior interesse por parte do estudante. Ao invés disto, a maioria destes textos continua ainda a veicular um conhecimento estático, fortemente focado nas fórmulas e cheio de exercícios que buscam apenas o treino no uso dos algoritmos matemáticos subjacentes às teorias e modelos científicos ensinados. Alinhada com esta crítica a um uso ingênuo da história, Alfonso-Goldfarb (1994, p. 88-89) afirma que:

“...a História da Ciência tem servido como grande estímulo. No que se refere aos professores, um trabalho desenvolvido sobre a História da Ciência evita que seus alunos sejam tratados como pequenos gregos que devem ser transformados em jovens Newtons. Quanto aos estudantes, rompendo com a ladainha sobre a superioridade e a predestinação do conhecimento científico torna-se possível sua maior participação, colocando idéias diferentes do livro-texto e dúvidas. O estudo da gênese das idéias científicas também ajuda a que se entenda melhor seus processos e convenções, evitando a velha técnica escolar de aprender de cor.”

Com o intuito de construir um retrato da forma como a história da termodinâmica é utilizada pelos livros didáticos de física, foi analisado 5 dos livros mais utilizados nas escolas brasileiras. Tal análise se fundamentou nas 27 categorias listadas na tabela a seguir. Tais categorias dizem respeito à menção das principais contribuições dos personagens mais importantes do desenvolvimento da termodinâmica, bem como da citação de tais personagens na apresentação das leis, conceitos e experimentos da termodinâmica. Nas colunas da Tabela 1, ‘C’, ‘F’, ‘G’, ‘M’ e ‘R’ foram colocadas as respostas ‘SIM’ ou ‘NÃO’ para indicarem, respectivamente, as categorias encontradas nos livros e as omissões, conforme determinada contribuição ou personagem foi ou não citado pelos textos didáticos analisados. As categorias em negrito, são, na nossa opinião, de relevância maior para os textos dos livros didáticos no ensino da Termodinâmica, uma vez que contribuem mais para o entendimento dos conceitos trabalhados no ensino médio. As categorias listadas na tabela dizem respeito ao fato de serem ou não encontradas nos textos didáticos (Sim ou Não). A posterior análise de possíveis distorções nos livros em que tais categorias foram encontradas será discutida a seguir.

Logo, nenhum de tais categorias compreende distorção, mas apenas personagens e contribuições que são importantes neste caso histórico.

Tabela 1: Categorias Encontradas nos Livros e suas Omissões

	C	F	G	M	R
A máquina a vapor é citada como um invento técnico	Não	Não	Sim	Não	Sim
A teoria do calórico é citada como parte do desenvolvimento histórico da termodinâmica	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Joseph Black e suas contribuições são citadas	Não	Não	Não	Não	Sim
A experiência de Rumford e a idéia da Energia produzida pelo movimento estão presentes na apresentação do conteúdo	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Humphry Davy é citado como personagem e seus experimentos sobre a produção do calor através do movimento	Não	Não	Sim	Não	Não
Máquina de Heron é citada como uma primitiva máquina térmica	Não	Não	Sim	Sim	Não
Papin e a idéia da máquina a vapor são apresentados	Não	Não	Não	Não	Não
Máquina de Savery (Amiga do Mineiro) é citada	Não	Não	Sim	Não	Não
Máquina de Newcomen e o seu funcionamento são mencionados	Não	Não	Sim	Não	Não
Máquina de Watt e seu funcionamento são mencionados	Sim ²	Não	Sim	Sim	Sim ³
As máquinas a vapor foram usadas inicialmente nas minas	Sim	Não	Sim	Sim	Não
O Manômetro de Watt e a relação Clapeyron da área do gráfico P x V como trabalho são citados	Não	Não	Não	Não	Não
Clapeyron e a relação do trabalho e a quantidade de calor para achar o rendimento são mencionados	Não	Não	Não	Não	Não
“Princípio de Carnot” e o rendimento através das temperaturas	Não	Não	Não	Sim	Sim
O ciclo de Carnot é discutido	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Os personagens Mohr e Helmholtz são mencionados	Não	Não	Não	Não	Não
Experiência(s) de Joule e a relação quantitativa entre calor e energia mecânica fazem parte da apresentação do texto didático	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Princípio de Equivalência de Mayer é mencionado	Não	Não	Não	Não	Não
Mayer e a idéia de conversão das energias e da conservação da energia no universo são mencionados	Não	Sim ⁴	Não	Não	Sim ⁵
A idéia de Entropia desenvolvida por Clausius é apresentada	Não	Não	Sim	Sim	Sim
O enunciado da 2ª lei da Termodinâmica formulado por Clausius	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
O enunciado da 2ª lei da Termodinâmica formulado por Kelvin	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
A 1ª Lei da Termodinâmica enunciada por Clausius e a relação com o Princípio de Equivalência de Mayer são mencionados	Não	Não	Não	Não	Não
A descoberta de Kelvin da idéia de um refrigerador é mencionada	Não	Não	Não	Não	Não
A importância da máquina a vapor no desenvolvimento da Termodinâmica é mencionada	Sim	Não	Sim	Não	Não
Locomotivas a vapor são discutidas pelo livro analisado	Sim	Não	Sim ⁶	Sim	Sim
Outros fatos históricos da Revolução Industrial (a importância da máquina a vapor já foi colocada acima)	Não	Não	Sim	Não	Não

C [SAMPAIO, J. L. e CALÇADA, C. S. Física (Ensino Médio Vol. Único). São Paulo: Atual Editora, 2003.]; F [GUIMARÃES, L. A. e FONTE BOA, M. Física (Ensino Médio) – Termologia e Óptica. Rio de Janeiro: Editora Futura, 2001.]; G [GASPAR, A. Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Ática, 1ª Edição, 2002.]; M [DA LUZ, A. e ÁLVARES, B. Curso de Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Scipione, 2006. (Nomes usados na capa do livro BEATRIZ

² O funcionamento foi dito de forma incompleta

³ Só mostra uma foto da máquina

⁴ Comenta sobre Mayer

⁵ Comenta sobre Mayer

⁶ Comenta que as máquinas a vapor foram utilizadas para acionar meios de transporte

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

E MÁXIMO)]; R [JUNIOR, F. R., FERRARO, N. G. e SOARES, P. A. T. Os Fundamentos da Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Moderna, 8ª Edição, 2004. (Nomes usados na capa do livro RAMALHO, NICOLAU E TOLEDO)]

Como podemos perceber na tabela acima, vários fatos históricos foram omitidos nas apresentações dos livros textos analisados. Por outro lado, alguns fatos encontram-se em todos ou quase todos os citados textos, dando a entender que são mais relevantes. Dentre estas categorias mais citadas estão as experiências que Joule fez para encontrar a equivalência quantitativa entre calor e energia mecânica, a teoria do calórico, a experiência de Rumford, o enunciado da 2ª lei por Clausius e por Kelvin, a máquina a vapor de Watt e a máquina a vapor usada nas locomotivas. Apesar de serem fatos e descobertas importantes, precisamos reiterar que elas não aconteceram sozinhas. São parte de uma ‘trama’ mais ampla, de um complexo conjunto de análises e disputas em torno da busca de uma teoria capaz de dar conta dos fatos experimentais advindos das experiências e percalços tecnológicos em torno do desenvolvimento histórico da ciência do calor. Como por exemplo, a ideia da conservação da energia. Apresentar apenas alguns destes personagens e alguns das explicações desta vasta ‘trama’ constitui-se numa redução simplista perigosa, que pode pintar um quadro insípido deste desenrolar histórico, bastante diferente de uma leitura crítica.

Há algumas categorias que sequer foram citadas, não aparecendo em nenhum dos textos analisados, parecendo não serem relevantes. Dentre tais categorias encontram-se a idealização que Papin fez de uma máquina a vapor, o manômetro de Watt que fundamentou a análise feita por Clapeyron que levou ao desenvolvimento da relação entre a área sob o gráfico $P \times V$ e o trabalho realizado por uma transformação termodinâmica, a definição do rendimento como a relação entre a quantidade de calor e o trabalho, desenvolvida por Clapeyron, as contribuições de Mohr e Helmholtz, o princípio da equivalência de Mayer, a relação entre o princípio da equivalência de Mayer e o enunciado da 1ª lei da termodinâmica realizado por Clausius e a ideia Kelvin sobre o refrigerador. As apresentações textuais deixam transparecer que todas estas relações apareceram do nada, não havendo uma tradição de pesquisa e as contribuições dos citados personagens no desenvolvimento destas ideias. No Texto de Guimarães e Fonte Boa (2001) Carnot, Clausius e Mayer são citados, mas de forma muito simplificada. Não mostrando suas importâncias no desenvolvimento da termodinâmica. Lembrando que todos esses três foram determinantes para o desenvolvimento das duas primeiras leis da Termodinâmica. Sendo Clausius um dos que enunciou tanto a primeira como a segunda lei.

Destacamos ainda a ausência de uma análise da influência sócio-político-econômica no desenvolvimento da ciência. No nosso estudo de caso, não há nenhuma evidência de uma apresentação interdisciplinar, nos textos analisados, entre física e história crítica, mostrando fatos

históricos da revolução industrial como fatores que influenciaram o desenvolvimento da termodinâmica. Como podemos observar na tabela, apenas um dos cinco textos cita fatos da revolução indústria e sua importância no desenvolvimento da termodinâmica. Por outro lado, enquanto a máquina de Watt aparece em 4 dos livros, as de Savery e Newcomen só são lembradas em um, parecendo não serem tão importantes quanto a de Watt. Lembrando que este último se baseou na máquina de Newcomen para fazer uma melhor.

Com respeito à teoria do calórico, a maioria dos textos fazem menção à existência desta teoria anterior, mas Black, personagem importantíssimo deste modelo teórico é citado por 1 livro apenas.

No livro de Sampaio e Calçada (2003) explica o funcionamento da máquina a vapor desta forma: “Nelas o vapor aquecido penetra num cilindro empurrando um pistão, o qual produz o movimento desejado”. Logo ao lado dessa afirmação mostra uma reprodução de uma máquina de Watt. Observe o descuido do autor no que diz respeito ao funcionamento da máquina. Se ela movimentar o pistão apenas para cima, não completará o ciclo termodinâmico, composto não só da expansão do volume interno do cilindro, mas também de sua posterior contração. O vapor precisa ser resfriado e o pistão descer para que se tenha o movimento de subida e descida do pistão, repetindo-se o ciclo.

Algumas teorias vencidas que foram fundamentais para o desenvolvimento da termodinâmica são lembradas em alguns livros sem o mínimo cuidado no que tange à sua importância histórica. Por exemplo, a teoria do calórico, apesar de ser lembrada em todos os livros, dificilmente é bem interpretada. Às vezes não recebendo devido valor, como no texto de Ramalho et al (2004), no qual é interpretada de forma pejorativa, ao afirmar que antigamente “entendia-se erroneamente o calor como uma substância”. Dessa forma parece que ela não teve nenhum valor, nenhuma importância. E isso não é verdade. É só lembrar que a calorimetria se desenvolveu com a teoria do calórico. Já Beatriz e Máximo (2006) afirmam que tal teoria explicava que quanto maior fosse a temperatura do corpo, mais calórico ele tinha no seu interior, constituindo-se numa interpretação equivocada desta teoria. Na verdade, tal teoria afirmava que quanto maior fosse a temperatura do corpo, maior seria a tensão exercida pelo fluido calórico no interior deste corpo (MEDEIROS, 2007).

Com respeito à segunda lei, há algumas apresentações discordantes com a leitura histórica construída nesta pesquisa. No livro de Ramalho et al (2004) refere-se à segunda lei, afirmando que “a transferência preferencial de calor do corpo quente para o corpo frio levou Clausius a enunciar a segunda lei”. Perceba que se constitui num equívoco histórico, na medida em que não há evidência de que Clausius acreditasse na preferência do calor e, conseqüentemente, não há evidência de que o enunciado de tal lei tenha sido influenciado por tal idéia. Um detalhe também importante é quando

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

falam que a máquina tinha que ter uma fonte fria e outra quente. Na verdade, a fonte dita quente, dependendo do referencial pode ser fria ou morna, do mesmo jeito pode acontecer com a tal fonte fria. Na verdade a máquina tem que ter uma fonte mais quente e conseqüentemente outra mais fria.

Considerações Finais

Como vimos ao longo deste relato de pesquisa, a história da ciência é importante para se empreender uma análise epistemológica do desenvolvimento das teorias científicas. As idéias não nascem de um simples estalo dos dedos como, infelizmente, muitos livros acabam por deixar transparecer. Por outro lado, uma história factual, centrada em fatos isolados ou resumos de biografias de cientistas contribuem muito pouco ou quase nada no ensino da ciência.

Durante o trabalho observou-se como a história da humanidade pode influenciar a ciência, e vice-versa, constituindo-se num processo dialético. Contudo, na maior parte das vezes, as disciplinas de história e física são trabalhadas nas escolas e nos livros de uma forma completamente desvinculada, não havendo qualquer possibilidade de se empreender uma prática de ensino que busque a interdisciplinaridade. Trilhando um caminho contrário, a análise histórica aqui empreendida aponta caminhos onde isto é possível ensinar física utilizando a história da ciência. A Termodinâmica nasceu da vontade de se entender a máquina a vapor e das tentativas de melhorá-la. Pessoas como Carnot, Mayer, Joule, Clausius, Kelvin, Clapeyron, Rumford, Davy e outros foram importantíssimos para a consolidação desta ciência. Contudo é preciso tomar cuidado com a história que desejamos trabalhar com nossos alunos. Como constatamos nesta pesquisa, os livros didáticos omitem vários fatos importantes no desenvolvimento da Termodinâmica e às vezes chegam a distorcer outros. É importante que professores tenham conhecimento da história do desenvolvimento da Termodinâmica, facilitando o entendimento na epistemologia e tendo mais uma ferramenta de motivação.

Referências Bibliográficas:

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. O Que é História da Ciência. São Paulo: Editora Brasiliense, 1ª Edição, 1994.
- CANÊDO, L. B. A Revolução Industrial. São Paulo: Atual Editora, 13ª Edição, 1994.
- DA LUZ, A. e ÁLVARES, B. Curso de Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Scipione, 2006. (Nomes usados na capa do livro BEATRIZ E MÁXIMO).

- DE PÁDUA, A. B. et al. A História da Termodinâmica: uma Ciência Fundamental. Londrina: EDUEL, 2009.
- DE PÁDUA, A. B. et al. Termodinâmica clássica ou termodinâmica do equilíbrio: aspectos conceituais básicos. Londrina: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Vol. 29, n. 1, p. 57-84, 2008.
- ENGELS, F. A Dialética da Natureza. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 3ª Edição, 1979.
- FORBES, R. J. Power to 1850. in: SINGER, C. (org.). A history of Technology: The Industrial Revolution, 1750-1850. V. 4 Oxford: 1958.
- GASPAR, A. Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Ática, 1ª Edição, 2002.
- GARTMANN, H. História da Ciência – Conquistas da Humanidade. São Paulo: Boa Leitura Editora S/A, 2ª Edição, S.D.
- GUIMARÃES, L. A. e FONTE BOA, M. Física (Ensino Médio) – Termologia e Óptica. Rio de Janeiro: Editora Futura, 2001.
- HUBERMAN, L. História da Riqueza do Homem. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 21ª Edição, 1986;
- IGLESIAS, F. A Revolução Industrial. São Paulo: Editora Brasiliense, 10ª Edição, 1990.
- JUNIOR, F. R. et al. Os Fundamentos da Física, Vol. 2. São Paulo: Editora Moderna, 8ª Edição, 2004. (Nomes usados na capa do livro RAMALHO, NICOLAU E TOLEDO)
- MANTOUX, P. A Revolução Industrial no Século XVIII. São Paulo: Editora Hucitec, 2ª Edição, 1927.
- MASON, S. F.. História da Ciência: As principais correntes do pensamento científico. Porto Alegre: Editora Globo, 1ª Edição, 1964.
- MEDEIROS, A. A Termometria: de Galileu a Fahrenheit. Recife: Editora Líber, 1999.
- MEDEIROS, A. Os Pressupostos, as Possibilidades Explicativas e os Obstáculos Epistemológicos da Teoria do Calórico. Recife: Notas de Aula, 2007.
- MOORE, W. J. Físico-Química. Vol. 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 4ª Edição, 1976.
- SAMPAIO, J. L. e CALÇADA, C. S. Física (Ensino Médio Vol. Único). São Paulo: Atual Editora, 2003.
- SPROULE, A. Personagens que mudaram o mundo - Os grandes cientistas – James Watt. São Paulo: Editora Globo, 1992.

LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA E DISTORÇÕES NA HISTÓRIA DA TERMODINÂMICA

WILSON, M. e os EDITORES DE LIFE. A Energia. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1968.

- Artigo na rede

NOGUEIRA, R. Termodinâmica em Sistemas Biológicos, 2003. Disponível em: <www.aulasdebiofisica.hpg.ig.com.br/termodinamica.htm>. Último acesso em: 20 out. 2007.

RODRIGO BALDOW possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2007), é pós-graduando em Metodologia do Ensino de Física pela Universidade Gama Filho-RJ. Atualmente é Professor do ensino Fundamental e Médio do Colégio Barra de Jangada. Tem experiência na área de Astronomia.

FRANCISCO NAIRON MONTEIRO JÚNIOR possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1994). É Mestre em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1998) e Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da UNESP/Bauru. Atualmente é Professor de Ensino Superior do Departamento de Educação da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Tem experiência na área de ensino de física, com ênfase em física básica, instrumentação, e prática de ensino, atuando principalmente nas seguintes disciplinas: Física Geral e Experimental, Instrumentação para o Ensino da Física, Didática, Metodologia do Ensino da Física e Prática de Ensino da Física. Tem ainda experiência no uso de experimentos numa postura problematizadora, bem como no desenvolvimento de materiais alternativos no ensino da física. Em particular, desenvolve pesquisa em estratégias de ensino da física ondulatória e da matemática utilizando-se da música e da acústica musical.