



Aprendizagem significativa crítica: atividades contextualizadas e interdisciplinares no ensino da termodinâmica

.....

Jacson Santos Azevedo*

Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Francisco Nairon Monteiro Júnior

Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

RESUMO

O estudo da termodinâmica é frequentemente abordado no 2º ano do Ensino Médio e acompanhado de um tratamento descontextualizado de seu desenvolvimento histórico, como o apagamento de seu forte vínculo com a expansão do capitalismo industrial na Europa do século XIX. Pensando em suprir tal demanda, o nosso objetivo é apresentar duas atividades interdisciplinares, contextualizadas e geminadas, as quais buscam estabelecer a conexão entre a história expansionista do capitalismo na Europa e o estudo da termodinâmica por meio de passagens da obra "A era do capital: 1848-1875" (1977), do renomado historiador egípcio Eric Hobsbawm (1917-2012). Para tanto, elegemos como quadro teórico dois princípios da aprendizagem significativa crítica, quais sejam, a "não exclusividade do livro de texto" e o "não uso do quadro-de-giz", que, diga-se de passagem, não podem ser tomados literalmente.

Palavras-chaves: aprendizagem significativa crítica; ensino/aprendizagem da termodinâmica; história da termodinâmica

.....

1. Introdução

A história da termodinâmica tem sido fartamente explorada como recurso didático-pedagógico no ensino de física. No tocante aos aspectos histórico-filosóficos relacionados à natureza do calor, há diversos artigos que tratam de temas como a busca do equivalente mecânico do calor; as contribuições do Conde Rumford (1753-1814) com seus experimentos na perfuração de canhões; o desenrolar da construção das leis fundamentais da termodinâmica, com o estudo de máquinas térmicas; o entendimento do princípio da equivalência de "forças"¹, bem como a conservação da energia [1-4]. Muito embora tais leituras históricas constituam-se em interessantes ferramentas pedagógicas, em estreita sintonia com aqueles que defendem o uso da história e da filosofia da ciência no ensino de ciência [5], não articulam o ensino de física com o contexto social predominante no estudo das máquinas térmicas, como, a título de exemplo, a luta de classes decorrentes do avanço capitalista no século XIX. No caso do estudo do calor, o contexto social, orientado pela Revolução Industrial, que acompanhou a história da termodinâmica, fornece subsídios interessantes para um ensino de física problematizador e interdisciplinar, compromissado com uma formação mais crítica dos estudantes e docentes e, voltado, assim, para uma compreensão mais ampla das forças sociais presentes na Europa do século XIX.

Nesse sentido, buscamos visibilizar aspectos que raramente são postos em diálogo como elementos constitutivos do contexto social da Revolução Industrial, dentre os quais podemos mencionar a organização da classe trabalhadora em torno de sindicatos e agremia-

ções, na busca por melhores salários e condições de trabalho, por exemplo. Nesse viés, pretendemos, baseados num ensino de física contextualizado e que agrega situações problematizadas para a aprendizagem significativa crítica, apresentar duas atividades interdisciplinares, elaboradas para serem utilizadas em aulas sobre termodinâmica, as quais buscam articular o ensino de física ao contexto socio-político da Europa do século XIX. Antes, porém, vamos discorrer brevemente sobre o referencial teórico que embasa tais atividades, a saber, a aprendizagem significativa crítica.

2. Fundamentação teórica

As atividades aqui apresentadas como recursos didáticos repousou na teoria da aprendizagem significativa crítica, desenvolvida por Moreira [6-8]. Conforme Moreira [6], a aprendizagem significativa crítica busca, simultaneamente, colocar e retirar o aprendiz em seu universo cultural, permitindo-lhe uma visão inquiridora e mais ampla do meio social no qual está inserido:

[...] aprendizagem significativa crítica: é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades mas, ao mesmo tempo, reconhecer quando a realidade está se afastando tanto que não está mais sendo captada pelo grupo [6, p. 7].

Nesse movimento, pretende-se levantar pontos fulcrais relacionados à

*Autor de correspondência. E-mail: jacsonsantosazevedo@gmail.com.

sobrevivência do estudante na contemporaneidade, tais como um uso crítico da tecnologia, um consumo responsável, em contraposição à mentalidade do descartável, permitindo refletir sobre o modelo de globalização, baseado na colonização dos recursos naturais dos países periféricos. Ainda na perspectiva crítica que embasa os questionamentos acima levantados, Moreira [6] elenca pressupostos ou princípios norteadores, almejando uma aprendizagem significativa “antropológica”, por meio de atividades problematizadas a serem implementadas em sala de aula. Igualmente alinhados com esta perspectiva, nossas atividades centraram-se em dois princípios, quais sejam: o “princípio da não centralidade do livro de texto” e o “princípio da não utilização do quadro-de-giz”. Tais princípios dizem respeito à multiplicidade, respectivamente, de materiais instrucionais e estratégias de ensino. No entanto, devemos enfatizar que não se trata de descartar ou abolir livros didáticos e o quadro-de-giz da sala de aula, mas, pensando em uma aprendizagem significativa crítica, o docente deve incrementar em sua prática escolar outros instrumentos didáticos-pedagógicos em substituição às estafantes aulas expositivas, tão incentivadoras da aprendizagem mecânica.

Ligando os princípios adotados com nossa proposta didática, primeiramente exploramos o livro de Hobsbawm [9, 10] como material paradidático, cujas passagens selecionadas são ricas em pormenores históricos sobre o capitalismo europeu e industrial do século XIX, explorando o “princípio da não centralidade do livro didático” e deslocando o epicentro das aulas de física do livro didático. O segundo princípio encaixa-se pelo perfil das atividades formuladas por nós e, sendo assim, pelo tratamento diferenciado no estudo da termodinâmica. Reconhecendo a abordagem rotineira dada ao ensino de termodinâmica enquanto um ensino transmissor/receptor caracterizado pelo quadro-de-giz cheio de “contas” e o aprendiz como mero copiador, buscamos, alternativamente, valorizar o posicionamento dos estudantes em rodas de debate, em estratégias implementadoras da colaboração, da participação coletiva da turma na resolução dos questionários propostos, enaltecendo a comunicação oral e a escrita dos estudantes [6].

Em seguida, vamos ordenar duas atividades interdisciplinares e interdependentes, numa parceria entre profes-

sores de física e história, centradas nos contextos social e político que cercam o desenvolvimento histórico da termodinâmica, marcadamente na Europa, cujas invenções, como o motor a vapor, alavancaram a difusão do mundo capitalista industrial durante o século XIX. Além das atividades, oferecemos uma seção inteira com recomendações aos docentes, explicando como encaminhar determinadas passagens das atividades com indicações indiretas de leituras complementares.

3. Atividades interdisciplinares em um ensino crítico da termodinâmica

3.1. Primeira atividade interdisciplinar

Faça a leitura do fragmento abaixo:
“[...] O que nos choca retrospectivamente sobre a primeira metade do século XIX é o contraste entre o enorme e crescente potencial produtivo da industrialização capitalista e sua inabilidade, bem patente, em aumentar sua base. Poderia crescer dramaticamente, mas parecia incapaz de expandir o mercado para seus produtos, proporcionar saídas lucrativas para seu capital acumulado, ter por si só a capacidade de gerar emprego a uma taxa comparável ou com salários adequados. É instrutivo lembrar que, o mesmo no final da década de 1840, observadores inteligentes e bem-informados na Alemanha – no clímax da explosão industrial naquele país – admitiam, como o fazem atualmente nos países subdesenvolvidos, que nenhuma industrialização poderia fornecer emprego para a vasta e crescente “população em excesso” dos pobres. Revolucionários tinham tido a esperança de que isso viesse a ser definitivo, mas mesmo homens de negócios temeram que isso pudesse vir a estrangular seu sistema industrial.

Por duas razões estas esperanças ou medos provaram ser infundados. Em primeiro lugar, a economia industrial nos seus primórdios descobriu – graças largamente à pressão da busca de lucro da acumulação do capital – o que Marx chamou sua “suprema realização”: a estrada de ferro. Em segundo lugar – e parcialmente devido à estrada de ferro, motor a vapor e o telégrafo

“que finalmente representaram os meios de comunicação adequados aos meios de produção” [Marx, 1879] – o espaço geográfico da economia capitalista poderia repentinamente multiplicar-se, na medida em que a intensidade das transações comerciais aumentasse. O mundo inteiro tornou-se parte desta economia [...]” [9, p. 53].

Com base na leitura do fragmento, organize uma roda de diálogo e debate que inclua tópicos como economia capitalista, motor a vapor, telégrafo, geração de empregos, revolucionários, etc. Depois forme um grupo com quatro integrantes e construa um texto explicativo que sintetize a discussão anterior.

3.2. Segunda atividade interdisciplinar

Realize a leitura de outro fragmento extraído do livro *A era do capital* (1977) do conceituado historiador Eric Hobsbawm (1917-2012), transcrito a seguir:

“A economia capitalista recebeu, portanto, simultaneamente (o que não quer dizer acidentalmente) um número de estímulos extremamente poderosos. Qual foi o resultado? Expansão econômica é mais convenientemente medida em estatísticas, e a sua mais característica medida do século XIX era a força a vapor (já que a força a vapor era a típica forma de força) e seus produtos associados, carvão e ferro. Meados do século XIX eram fundamentalmente a era da fumaça e do vapor. A produção de carvão já era de longa data medida em milhões de toneladas, mas agora chegava a ser medida em dezenas de milhões para países individualmente, e em centenas de milhões para o mundo. Cerca de metade deste carvão – um pouco mais no início de nosso período – vinha do produtor

incomparavelmente maior, a Inglaterra. A produção de ferro ali tinha atingido a ordem de magnitude de milhões na década de 1830 (era de 2,5 milhões de toneladas em 1850). Por volta de 1870, a França, a Alemanha e os Estados Unidos produziam cada um entre um e dois milhões de toneladas, enquanto a Inglaterra, ainda a “oficina do mundo”, permanecia bem na frente com 6 milhões, ou seja, metade da produção mundial. Naqueles 20 anos, a produção mundial de carvão multipli-

O docente deve incrementar em sua prática escolar outros instrumentos didáticos-pedagógicos em substituição às estafantes aulas expositivas, tão incentivadoras da aprendizagem mecânica

cou-se por duas vezes e meia, a produção de ferro multiplicou-se por quatro vezes. A força total de vapor, porém, multiplicou-se por quatro vezes e meia, subindo de uma estimativa 4 milhões de HP em 1850 para cerca de 18,5 milhões de HP em 1870.

Estes números brutais indicam um pouco mais além de que a industrialização estava em processo. O fato significativo era que o processo estava agora geograficamente muito mais espalhado apesar de muito desigual. A presença de estradas de ferro e, numa escala menor, máquinas vapor, introduzia então o poder mecânico em todos os continentes e em países não-industrializados. A chegada da estrada de ferro era em si mesmo um sonho revolucionário, já que a construção do planeta como uma economia única era, de várias formas, o aspecto mais espetacular e de maior alcance da industrialização. Mas a “máquina fixa”, por si própria, fez progressos dramáticos na fábrica e na mina. Na Suíça foram instaladas 34 máquinas em 1850, mas em 1870 havia quase mil; na Áustria de 671 (1852) para 9160 (1875), aumentando de mais de 15 vezes os HP. (Para comparação, um país europeu realmente atrasado como Portugal ainda tinha umas poucas 70 máquinas totalizando 1200 HP em 1873.) O total da força a vapor da Holanda multiplicou-se por trinta vezes.

[...] A Inglaterra, evidentemente era o país industrial *par excellence* [por excelência] e, como já vimos, conseguiu manter sua posição relativa, apesar de que sua capacidade produtiva de força a vapor havia começado a declinar seriamente. Em 1850, a Inglaterra possuía bem mais de um terço de toda a força a vapor, mas já na década de 1870 possuía apenas uma quarta parte ou menos: 900 mil HP de um total de 4,1 milhões de HP. Em números absolutos, os Estados Unidos já estavam um pouco mais na frente por volta de 1850, e deixaram a Inglaterra bem atrás em 1870, com mais do dobro da força a vapor que a velha Inglaterra, mas mesmo assim a expansão industrial americana, apesar de extraordinária, era menos sensacional que a da Alemanha. A força a vapor fixa desta última era extremamente modesta em 1850 – talvez 40 mil HP no todo, muito menos que 10% dos ingleses – e em 1870 era de 900 mil HP, o mesmo da Inglaterra e muito superior à francesa” [9, p. 59-60]. Em seguida, forme grupos para o debate, incentivando responderem às perguntas abaixo.

Questionário

- 1) O autor enfatiza a proporcionalidade entre a “força de vapor” e a produção de carvão e ferro na segunda metade do século XIX. Debata com seu grupo as conexões existentes entre elas e apresente para a turma, por escrito e oralmente, suas conclusões. Faça uso dos dados numéricos contidos no fragmento sobre o maquinário, a produção de carvão, o período, dentre outros, para fundamentar as conexões exigidas.
- 2) Hobsbawm descreve alguns dados quantitativos para fundamentar sua narrativa da expansão capitalista no mundo, porém desigual. Dentre esses dados, ele aponta uma unidade para potência: horse-power (HP). Essa medida ele associou ao que chamou de “força a vapor”. Considerando $1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W}$, determine o crescimento aproximado em megawatts (MW) da “força a vapor total” entre 1850 e 1870, conforme indicado no fragmento acima.

4. Recomendações para a implementação das atividades

Para a primeira atividade interdisciplinar, é extremamente necessário que cada estudante da turma tenha uma cópia da atividade e que a leitura seja feita por algum estudante voluntário. A formação da turma deve ser em círculo, crucial para o desenvolvimento de uma roda de diálogo. Ademais, recomendamos ao professor de física que conte com a presença imprescindível de um docente com formação em história, a fim tornar as intervenções mais ricas e pormenorizadas, um autêntico diálogo interdisciplinar, principalmente no que tange a tópicos como economia capitalista e movimento revolucionário no contexto da Revolução Industrial. Neste último, solicitar que o professor de história destaque o papel do proletariado europeu na luta por emprego, melhores condições de trabalho, aumento salarial e pela superação do capitalismo enquanto modelo político, econômico e social [10].

Sobre a ciência termodinâmica, aponte o uso de invenções como o motor a vapor que, segundo Arruda [11], contou com condições sociais e econômicas favoráveis, e, portanto, como enfatizado no fragmento, utilizada como impulsionadora do modo de produção capitalista. Mesmo não compondo diretamente o estudo da termodinâmica, é importante falar do telégrafo, elétrico

ou não, e sua função no desenvolvimento da comunicação no mundo industrial emergente. Ao mencionar as estradas de ferro, discorra sobre as locomotivas a vapor, no Brasil batizadas de Maria Fumaça, que passeavam por elas como exemplos de máquinas térmicas responsáveis pelo transporte de matérias-primas usadas na confecção de produtos industrializados na época da expansão capitalista, inquirindo a turma sobre seu funcionamento e suas fontes térmicas. Quanto ao texto elaborado por cada grupo de alunos, é recomendável que o docente o submeta à avaliação e ao debate por parte dos demais estudantes do grupo, permitindo a livre argumentação dos participantes.

No que tange à segunda atividade elaborada, a turma deve manter a mesma formação de grupos da atividade anterior e a colaboração do professor de história deve ser mantida, principalmente no que diz respeito à centralidade da expansão industrial na Europa do século XIX, mesmo mencionando a ampliação da “força a vapor” nos Estados Unidos e frisando a magnitude da Revolução Industrial como um movimento mundial. Também solicitar que o professor de história valorize os impactos que tal expansão trouxe para a classe trabalhadora como exército de mão de obra excedente em contratos vulneráveis com o empregador, como defende Hobsbawm [10], e sua organização em torno dos sindicatos da época, na luta por condições salubres de trabalho e pela redução da jornada de trabalho que, conforme Baldow e Monteiro Júnior [2], chegou a ultrapassar 14 horas por dia.

Quanto à primeira questão, o professor de física pode mencionar a máquina a vapor de Thomas Newcomen (1663-1729), construída em 1712, que foi largamente utilizada nas minas de carvão para o bombeamento da água e, com os aprimoramentos de James Watt (1736-1819), massificou-se na mineração. Procure explicar tais máquinas a partir da contextualização socio-histórica sugerida, como, por exemplo, descrevendo o aperfeiçoamento desenvolvido por Watt no dispositivo de Newcomen, salientando que tal aperfeiçoamento estava imbricado ao contexto social da época, caracterizado pela ampliação do investimento em equipamentos técnicos e melhorias tecnológicas, bem como na subsequente acumulação de capital [11]. Nesse sentido, Baldow e Monteiro Júnior [2] apontam o condensador confeccionado por Watt que, adicionado a

máquina de Newcomen, aumentou sua eficiência, por meio da redução da dissipação de energia no aquecimento e resfriamento do cilindro². Além do mais, ainda se tratando da primeira questão, incentive os grupos a incluir valores estatísticos, fornecidos no fragmento da obra de Hobsbawm [9], ao tratar da fundamentação escrita e oral que a pergunta exige. Sendo assim, espera-se que os estudantes abordem o crescimento da “força a vapor” dos países por meio dos dados quantitativos explicitados pelo autor e sua relação com o consumo de carvão e ferro. No caso da Inglaterra, entre 1850 e 1870, houve um aumento de sua hegemonia na produção de ferro, que passou de 2,5 milhões de toneladas para 6 milhões de toneladas. Contudo, nesse mesmo período, houve um decréscimo de sua “força a vapor” de, aproximadamente, 33% para um valor menor ou igual 25%, em relação à produção mundial em HP. Enquanto a Inglaterra perdia protagonismo, outros países europeus e os EUA se destacavam na produção de “força a vapor”, ou seja, máquinas a vapor cujo rendimento era mensurado pela sua potência em horse-power (HP). A segunda pergunta está voltada para o primeiro parágrafo do fragmento, que sinaliza um crescimento aproximado de 14,5 MHP em 20 anos (aproximadamente 11000 MW). Nesse momento, o professor deve auxiliar os grupos no entendimento do prefixo mega (M) e

das conversões subsequentes.

5. Conclusões

Nosso objetivo central neste trabalho foi o de tornar possíveis situações contextualizadas, interdisciplinares e problematizadas, buscando promover uma aprendizagem significativa crítica no estudo da termodinâmica, valorizando os aspectos sociais e políticos do contexto histórico europeu no século XIX e não apenas o desenvolvimento conceitual. De fato, tomando como quadro teórico a aprendizagem significativa crítica de Moreira [6-8], no que tange aos dois princípios selecionados por nós, acreditamos na viabilidade de tais atividades, contextualizadas e problematizadas, voltadas ao ensino da termodinâmica em conjunto com o estudo da Revolução Industrial, comumente reservado ao componente curricular história.

Noutra dimensão, frisamos que tais atividades sugeridas não neutralizam os conteúdos tradicionais do estudo físico da termodinâmica, a saber, o estudo da termometria e calorimetria, da conservação da energia, inclusos no primeiro princípio da termodinâmica, e ainda da conceituação da entropia e do rendimento de máquinas térmicas, dentre outros tópicos do campo da física em questão. Entretanto, longe do “conteudismo” que atinge o ensino de física atual, baseado no ensino dissertador/narrador, alienante e anulador,

apontado por Freire [13], buscamos propor uma aprendizagem significativa crítica da termodinâmica que esteja em sintonia com desafios postos por nossa realidade escolar e, portanto, crítico, interdisciplinar, contextualizado e superador das abordagens rotineiras no estudo da termodinâmica.

Com isso queremos afirmar que uma abordagem centrada somente no docente, equivocadamente entendido como repositório de respostas e detentor do saber, e no uso inadequado que este faz do livro didático e do quadro-de-giz, acaba por alimentar uma aprendizagem mecânica da termodinâmica, tão presente nas escolas. Alternativamente, por meio de atividades como as apresentadas neste artigo, lançamos mão de uma perspectiva socio-histórica, muito pouco presente em livros didáticos e na prática pedagógica do professor de física, proporcionando uma interface com alguns pontos fulcrais da Revolução Industrial e em sintonia com alguns trabalhos de pesquisa que valorizam o contexto social, político, cultural e econômico, muito embora tais pesquisas perpassem pelas concepções filosóficas, epistemológicas, religiosas e técnico-científicas que subsidiaram a Revolução Industrial e trabalhos experimentais desenvolvidos por cientistas como James Joule (1818-1889), como é possível verificar na leitura de Soares [14] e Queirós e cols. [15].

Referências

- [1] A.A. Bucussi, Textos de Apoio ao Professor de Física **25**, 1 (2006).
- [2] R. Baldow, F.N. Monteiro Júnior, Alexandria **3**, 3 (2010).
- [3] A.P.B. Silva, T.C.M. Forato, J.L.A.M. Gomes, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **30**, 492 (2013).
- [4] W.P. Queirós, R. Nardi, D. Delizoicov, Investigações em Ensino de Ciências **19**, 99 (2014).
- [5] M. Matthews, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **12**, 164 (1995).
- [6] M.A. Moreira, in: *Atas do III Encontro Internacional Sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa, 2000, p. 33-45. Revisado e estendido.
- [7] M.A. Moreira, in: *Atas do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Madri, 2006. Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/vi-saoclasicavisaocritica.pdf>. Acesso em 13 mai. 2020.
- [8] M.A. Moreira, Revista do Professor de Física **1**, 1 (2017).
- [9] E.J. Hobsbawm, *A Era do Capital: 1848-1875* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1977), p. 49-66, trad. Luciano Costa Neto.
- [10] E.J. Hobsbawm, *A Era do Capital: 1848-1875* (Paz e Terra, Rio de Janeiro, 1977), p. 117-134, trad. Luciano Costa Neto.
- [11] J.J.A. Arruda, *Revolução Industrial e Capitalismo* (Brasiliense, São Paulo, 1984), p. 49-71.
- [12] L.A. Tavares, *James Watt: A Trajetória que Levou ao Desenvolvimento da Máquina a Vapor Vista por seus Biógrafos e Homens de Ciências*. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2008.
- [13] P. Freire, *Pedagogia do Oprimido* (Afrontamento, Porto, 1975), 2ª ed.
- [14] L.C. Soares, Economia **27**, 103 (2001).
- [15] W.P. Queirós, R. Nardi, D.D. Neto, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **36**, 675 (2019).

Notas

¹Os cientistas ainda no século XIX, segundo referência [4], compreendiam “força” como sendo o atual conceito de energia.

²Para mais detalhes a respeito do trabalho técnico-científico de James Watt no aprimoramento da máquina de Newcomen, consultar o trabalho de pesquisa de Tavares [12, p. 11-46] no qual o autor descreve os estudos de Watt que vai desde a substituição do material do cilindro, passando pela construção do condensador de estanho almejando economizar energia e carvão, suas correspondências com Joseph Black (1728-1799), também contando com aspectos relacionados da sua parceria com Matthew Boulton (1728-1809) e da Sociedade Lunar da qual foi membro.