



**O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA A PARTIR DE UMA
ABORDAGEM CONTEXTUAL DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA:**

Textos didáticos

Mestrando: Geilson Rodrigues da Silva

Orientadora: Nádia Cristina Guimarães Errobidart

Campo Grande-MS, 2019

Apresentação

Apresentamos na presente pesquisa dois produtos pedagógicos desenvolvidos no âmbito do mestrado profissional de Ensino de Ciências. No primeiro produto temos a reconstrução histórica da Termodinâmica que é apresentado em consonância com o avanço da Revolução Industrial que pressionava pela construção e aperfeiçoamento das máquinas térmicas para extrair mais recursos minerais. Posteriormente essas máquinas passaram a ser empregados em outros setores da sociedade inglesa, tais como, na mecanização das fábricas, nos navios movidos a vapor e nas locomotivas. Devido a utilização dessas máquinas ocorreu várias transformações na organização do trabalho com a exploração da mão de obra infantil e das mulheres somados aos baixos salários pagos ao proletariado, além disso teve o crescimento acelerado de cidades acompanhado pela poluição ambiental e aumento da violência urbana.

Dessa forma, o produto 1 acompanha o desenvolvimento da Termodinâmica enquanto ciência e como as transformações sociais está relacionado com esse desenvolvimento, sendo assim, esse produto é um material didático para o docente. E este pode utilizar esse produto para balizar aplicações em seu próprio contexto escolar determinando a profundidade que deseja abordar a Termodinâmica ou utilizar a sequência de ensino que elaboramos no produto 2 como ponto de partida para a sua abordagem da Termodinâmica. Independente de qual caminho for percorrer o docente contará com a construção histórica da Termodinâmica no contexto da Revolução Industrial, aliado com os seus aspectos internalista representado pelas práticas experimentais empíricas em consonância com os aspectos externalista que são os fatores sociais e culturais imersos no processo de construção da ciência.

Em relação ao produto 2, trata-se de uma sequência de ensino testada no âmbito de aulas do Ensino Médio e que foi incorporado melhorias após a sua utilização nas aulas apresentado na dissertação. Este produto permite que os docentes abordem de forma interdisciplinar a Termodinâmica determinando a profundidade que almejam abrir cada caixa preta disciplinar. As caixas pretas, apresentam informações que orientariam uma discussão sobre o processo de desenvolvimento científico da Termodinâmica no contexto da Revolução Industrial, explorando uma abordagem histórica epistemológica com as perspectivas internalista e externalista, pautada nas orientações metodológicas de estudos de casos históricos de Stinner et al (2003), bem como, norteado pela abordagem contextual (TEIXEIRA, FREIRE-JUNIOR e EL-HANI, 2009). Para diferenciar as caixas pretas abertas utilizamos o seguinte sistema de cores: Alaranjado para a História, azul marinho, para a

Geografia, o verde musgo para a Geologia, o verde para a Física, o ouro claro para aplicação social das máquinas térmicas. Cada docente pode decidir a extensão e a profundidade da abertura das caixas pretas e utilizar o produto 1 para dar suporte para a sua discussão em uma perspectiva histórica epistemológica.

Em relação a fundamentação teórica utilizada na dissertação está balizou a elaboração dos produtos no sentido de permitir o avanço da zona de desenvolvimento proximal dos estudantes em consonância com os aportes epistemológicos (Ilhas de Interdisciplinaridade e pelo estudo de caso histórico pautado na abordagem contextual), possibilitando a internalização de conceitos da Termodinâmica e de Natureza da Ciência.

TEXTO 1: A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESENVOLVIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

A construção de uma teoria científica geralmente é resultante de um processo longo de estudos e que conta com a contribuição de diversos indivíduos, os quais mobilizaram conhecimentos de áreas distintas, buscando respostas para alguns dos problemas presentes no contexto em que estão inseridos por eles vivenciados.

Para possibilitar uma visão mais ampla desse processo construtivo da ciência, a partir da abordagem de uma teoria científica no processo de ensino, destacamos além do empirismo e sua defesa de que o conhecimento é pautado em evidências experimentais, fatores relacionados aos contextos sociais, econômicos e políticos que influenciaram as práticas científicas. Em outras palavras, realizar uma discussão pautada numa abordagem internalista e externalista do processo de construção dessa teoria científica. Considerando a importância desse tipo de discussão, apresentamos a seguir o desenvolvimento da Termodinâmica, estabelecendo uma relação com a Revolução Industrial.

Esse marco histórico representa um importante aspecto externalista, que influenciou diferentes setores da sociedade, dentre os quais os associados com desenvolvimento do processo científico nos

A Revolução Industrial ocorreu inicialmente na Inglaterra, levando a profundas transformações na ordem econômica e social, com a evolução dos processos produtivos e uma nova concepção entre o trabalho humano e as máquinas. No século XIX a revolução industrial se internacionalizou, com novas técnicas industriais que necessitavam de mais matérias primas, para permitir o crescimento econômico cada vez mais acelerado.

O estudo da Revolução Industrial implica em conhecimento da propriedade fundiária e da produção agrícola, não só pela ocupação da terra por atividades industriais como pelo abastecimento das populações urbanas e das fábricas. Há, pois, uma relação íntima entre os dois. No estudo do industrialismo é indispensável ter em conta o problema agrário, como propriedade da terra ou produção agrícola (SANTOS, 2004, p. 69).

Essa conquista industrial, não aconteceu do dia para a noite, pois muito antes da chegada da Industrialização, a Inglaterra era um país com uma economia fragilizada, que não visava lucros, e que estava longe de ser próspera, pois a população em geral vivia sob o regime dos senhores feudais, donos de grandes propriedades rurais, e por haver extensas propriedades no campo, a economia era baseada, apenas na subsistência da população inglesa, onde os servos eram as pessoas que plantavam, e cuidavam da terra, assim como, realizavam a colheita de toda a produção da lavoura (OLIVEIRA, 2017, p. 2).

A burguesia é classe dominante no sistema capitalista que chegou ao poder na Inglaterra com o advento da revolução gloriosa. Essa classe detinha os meios de produção e apresentava elevada influência no meio político que culmina com o monopólio dos meios de produção de forma a permitir a exploração da classe trabalhadora (MIGLIOLI, 2010).

A burguesia almejava uma economia forte e crescente, que visasse lucros de seu interesse, assim como, um controle social sobre a classe trabalhadora no processo de industrialização das fábricas. Nesse novo contexto o da fábrica, e da acumulação capitalista o trabalho não é mais um elemento da vida doméstica que se “mistura” com outras atividades, em que o homem que trabalha impõe um ritmo às suas tarefas (OLIVEIRA, 2017, p. 5).

séculos XVIII e XIX. A Inglaterra, contexto do início da Revolução Industrial, apresentava condições favoráveis para a implantação da industrialização em larga escala. Ela tinha uma política externa essencialmente pautada na exploração comercial das suas colônias e que adotava práticas mercantilistas para garantir uma balança comercial favorável. Ela controlava os mares no século XVIII, pois era pelos portos de Bristol, Glasgow e Liverpool que circulava o material necessário para à indústria algodoeira e o tráfico de escravos, principal fonte do capital acumulado pela burguesia (HOBSBAWM, 2000).

As relações feudais, que ainda persistiam no meio rural inglês, aos poucos davam lugar as grandes propriedades adquiridas pela burguesia. Nelas iniciou-se a migração da agricultura de subsistência para a comercial, objetivando garantir uma produção com menor gasto, aumento da produção alimentícia e expansão do comércio, visando a exportação do excedente da produção. Outro aspecto importante que a Inglaterra apresentava era a condição favorável para a implantação da industrialização em larga escala em seu território pois, ao contrário de outros países da

Com um grande desenvolvimento econômico no século XVII, o Estado monárquico absolutista inglês passou a representar um poder incômodo e desnecessário às aspirações da burguesia ascendente. Dado esse contexto, conspirou-se uma articulação política que resultou na deposição do rei católico Jaime II, da dinastia Stuart, e na ascensão ao poder do rei protestante Guilherme III (e sua esposa Maria II, filha de Jaime II). Esse fato (chamado pela história de revolução gloriosa) provocou um sensível abalo à estrutura política vigente, especialmente ao limitar o poder, outrora absoluto do rei e ao transferir para o parlamento grande parte das prerrogativas político-institucionais, a partir da proclamação de um novo regime, o regime parlamentarista inglês (consolidação de um Estado Liberal) - (VERBICARO, 2007, p. 37).

A Revolução Gloriosa consolida o liberalismo na Inglaterra, enquanto que, no restante da Europa, isso só aconteceu após a Revolução Francesa de 1789. Ela teve também caráter econômico: logo após a pacificação é fundado o Banco da Inglaterra e constituída a Companhia das Índias (SANTOS, 2004, p. 68).

O carvão mineral, principal fonte de energia do mundo até 1961, é constituído por pedaços de troncos, raízes, galhos e folhas de árvores que cresceram há mais de 250 milhões de anos em pântanos rasos. E, após morrerem, depositaram-se no fundo lodoso e ficaram encobertas por um longo período, sujeitos a determinadas condições de pressão e temperatura do terreno, o que contribuiu para que se transformassem num material homogêneo de cor preta, as jazidas de carvão. Após esse período ele foi ultrapassado pelo petróleo, como principal fonte de energia (CEPA, 1999).

Europa, ela tinha vivenciado seu último grande conflito no século XVII, período da Revolução Gloriosa (HOBSBAWM, 2000). A industrialização inglesa encontrando condição política e social favorável expandiu-se com a ampliação dos mercados e a crescente

necessidade de mais mercadorias. A manufatura foi então substituída pela maquinofatura, buscando suprir essa necessidade e atender a demanda do mercado mundial. As máquinas, incorporadas inicialmente na indústria têxtil, revolucionaram a produção industrial e isso resultou no aumento da demanda por fontes de energia como o carvão mineral, encontrado em abundância no subsolo da Inglaterra (PASCOAL, 2016).

Para aumentar a produção do carvão mineral as minas, local de onde ele era retirado, ficavam cada vez mais profundas e geralmente tinham infiltrações nos seus



O mapa possibilita a visualização da localização da Inglaterra, detentora de um império e que foi precursora da Revolução Industrial. A ilha propicia uma privilegiada posição geográfica, que dificultava a invasão de outras potências em processo de industrialização. Além disso, o desenvolvimento da indústria bélica inglesa, principalmente a marinha, possibilitou tornar-se centro econômico na época da Revolução Industrial, tendo o controle do mercado.

estágios finais, pois as escavações cortavam os lenções freáticos. Além disso, muitas vezes ultrapassavam o nível do mar e a situação era agravada pelo fato da Inglaterra ser uma ilha. Surge então a necessidade de retirar esse excesso de água do interior das minas e transportá-lo para fora da jazida, possibilitando assim mais segurança aos trabalhadores que se dedicavam a extração do carvão mineral (BRAGA, GUERRA e REIS, 2005).

A quantidade de água no interior das jazidas era um problema vivenciado pela sociedade da época e a busca por soluções para essa problemática social resultou no desenvolvimento dos equipamentos denominados máquinas térmicas. Um dos primeiros equipamentos visando atender essa finalidade foi construído e patenteado em 1698, pelo militar Thomas Savery. Ele utilizou do princípio de funcionamento de uma máquina térmica à vapor que remete aos dispositivos de êmbolo-pistão elaborado por Denis Papin em 1690. O sistema de embolo-pistão desenvolvido por Papin, foi implementado na máquina térmica a vapor por meio de um cilindro, no qual deslizava-se um pistão interligado por uma barra.

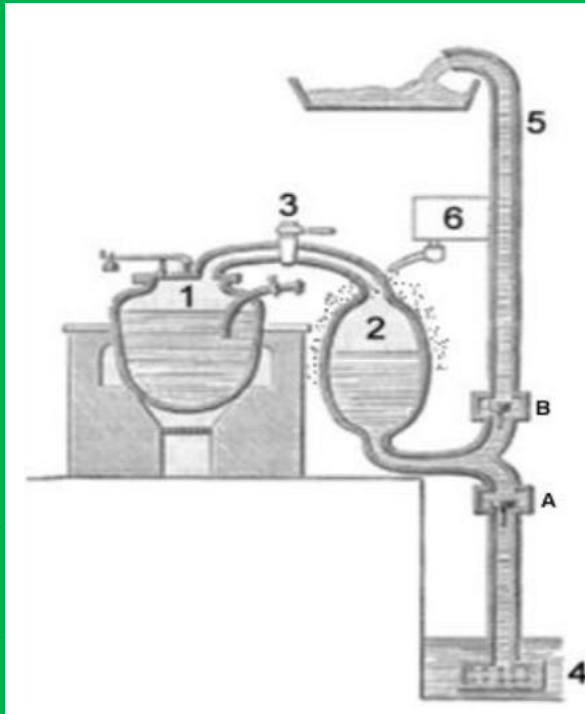
Uma pequena quantidade de água era acondicionada no interior do cilindro, que ao ser aquecido transformava a água em vapor, impulsionando o movimento de subida do pistão, para ser preso por uma presilha. O cilindro era então resfriado e o vapor no interior se condensava e quando a presilha era solta o pistão era empurrado para baixo por ação da pressão atmosférica, levantando assim o peso (SUARÉZ, 2011). Na ilustração ao lado temos a máquina de Papin, que é a precursora das panelas de pressão.



La Marmite de Papin exposée au Conservatoire des Arts et Métiers à Paris

A máquina de Savery, tinha um princípio de funcionamento simples, porém era inovador para sua época pois, ainda não tinha sido construído até então uma máquina que aproveitasse o vácuo.

Essa máquina era composta de uma caldeira (1), para se produzir vapor que adentrava no recipiente (2), a partir de uma tubulação com uma válvula (3). Então o vapor se condensava devido ação da água fria que era injetada na superfície do recipiente (6), com o qual se produz o vácuo parcial que é aproveitado para elevar à água do interior da mina que auxiliado pelo efeito da pressão atmosférica que atua na parte inferior (4), retirando assim a água da mina. Essa água é transferida para o meio externo, passando pela válvula A e pela (3), impulsiona a água para fora da mina por meio do vapor que é empurra sobre a superfície da água que está abrigada no recipiente (2), passando pelo duto (5), abrindo então a válvula B (SUARÉZ, 2011).

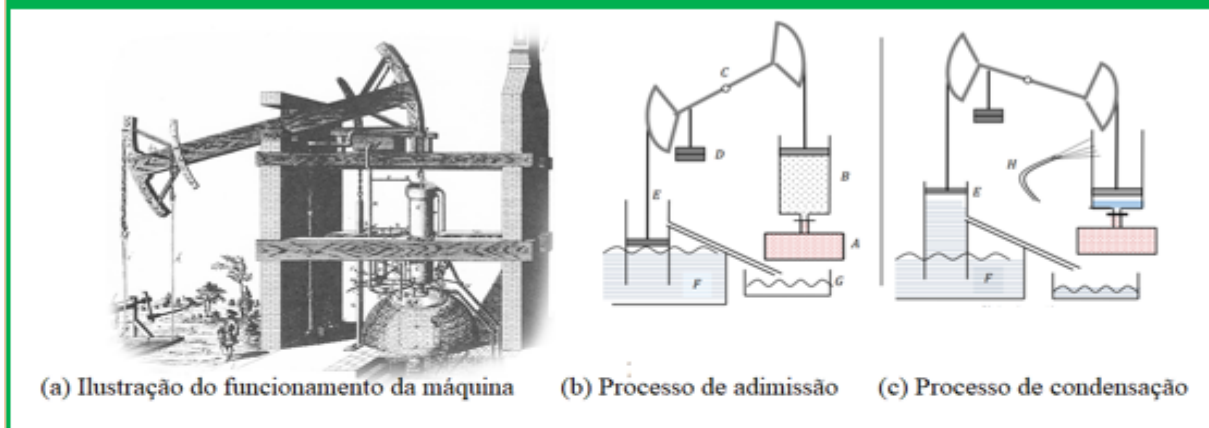


A máquina Savery, apresentava riscos pois exigia o aumento da pressão conforme aumentava-se a profundidade que a água deveria ser expelida, ocasionando o aumento da temperatura que levava a explosão da caldeira provocando acidentes sérios e mesmos fatais. Outro ponto que a máquina de Savery, precisava ser aperfeiçoado era em relação as tubulações que transportavam à água, estas não resistiram as altas pressões, sendo necessário

o trabalho com pressões baixas que levava ao deslocamento da água apenas poucas dezenas de metros, portanto ineficiente para explorar grandes profundidades (FREITAS, et al, 2010).

Diante do baixo rendimento e dos perigos da máquina de Savery, levou diversos técnicos/inventores a tentarem aperfeiçoar o equipamento devido também aos vultuosos recursos financeiros que receberiam com a patente de tal máquina. Um desses inventores obteve sucesso ao desenvolver um sistema que utilizava de um cilindro e um pistão móvel,

Na figura (a) temos a ilustração do contexto de uma mina utilizando uma máquina de Newcomen. Em (b) temos o esquema do processo de admissão da máquina de Newcomen em (c) o processo de condensação.



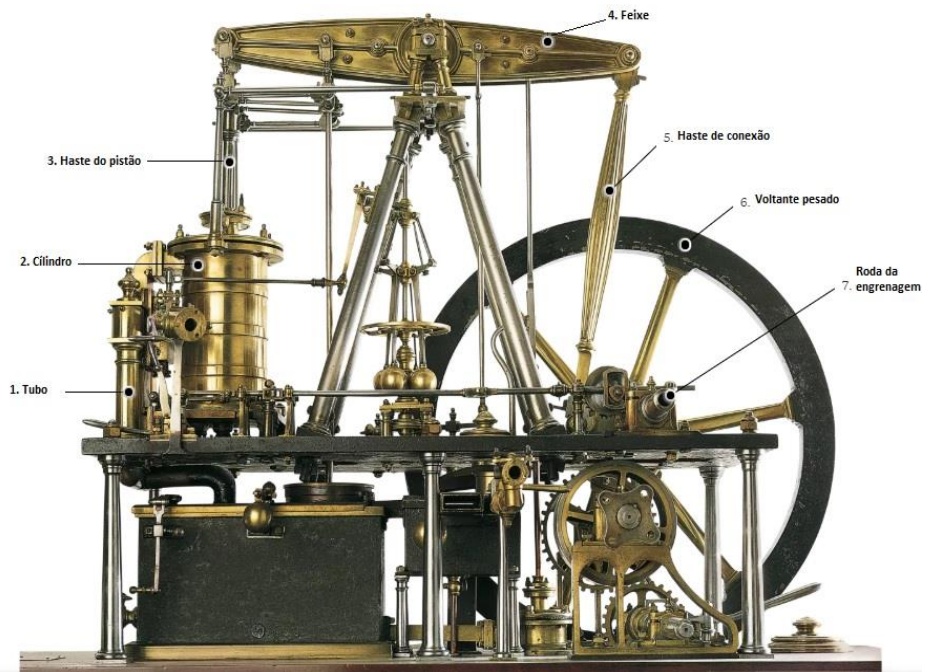
A máquina de Newcomen foi amplamente disseminada nas minas, gerando ganhos financeiros elevados para Newcomen. Na figura (b), temos a fase inicial de admissão, em que o vapor de água é produzido na cadeira (A), entrando então no cilindro de expansão e condensação (B), fazendo com que a gangorra (C), se incline para a esquerda no sentido do contrapeso (D). A segunda fase é o processo de condensação em que o cilindro é resfriado por meio de um jato de água (H), em seguida o vapor de água condensa-se, fazendo um vácuo parcial no cilindro, para tanto o êmbolo desce devido a força da pressão atmosférica exterior, então a gangorra se move para a direita e o êmbolo do cilindro de sucção (E), sobe criando um vácuo parcial no cilindro e a água na mina (F), sobe para o cilindro devido à pressão atmosférica exterior, levando à água para o depósito (G). Então o ciclo inicia-se novamente (DÍAZ, 2014).

sendo que o precursor dessa ideia foi o inventor Thomas Newcomen, que passou a empregar nas máquinas térmicas.

A máquina de Newcomen, apresentava melhor rendimento que a de Savery e mais segurança. Porém ainda era necessário aperfeiçoá-la, devido alto consumo de carvão mineral e pelo superaquecimento que levava a quebras frequentes, sendo necessários consertos extensos que demandavam oficinas maiores e com mais instrumentos, tais como as encontradas na universidade Glasgow na Escócia, que oferecia cursos de engenharia

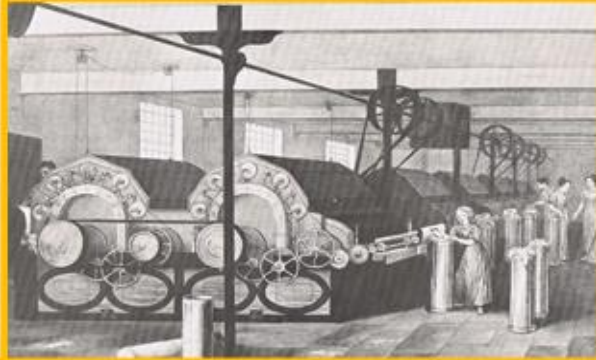
(BERNAL, 1951). E uma dessas oficinas trabalhava James Watt, construtor de instrumentos, que com os sucessivos consertos de máquinas, enviadas ao laboratório no qual trabalhava, aprendeu sobre seu funcionamento e aprimorou-as com base em conhecimentos adquiridos por meio da prática profissional.

Com base nesses saberes profissionais ele construiu uma máquina buscando resolver dois principais problemas dos equipamentos que consertava: quantidade de matéria prima usada para fornecer energia para aquecer o cilindro e a perda de energia deste para o meio. Ele substituiu cilindro de ferro por um de bronze, pois esse outro material era melhor condutor de energia na forma de calor, possibilitando que o mesmo permanecesse sempre aquecido e, para minimizar a perda de energia para o meio, adicionou um segundo cilindro, para favorecer a condensação do vapor. Com essa mudança a máquina ficou cinco vezes mais potente e reduziu em 75% o consumo de combustível (TAVARES, 2008;

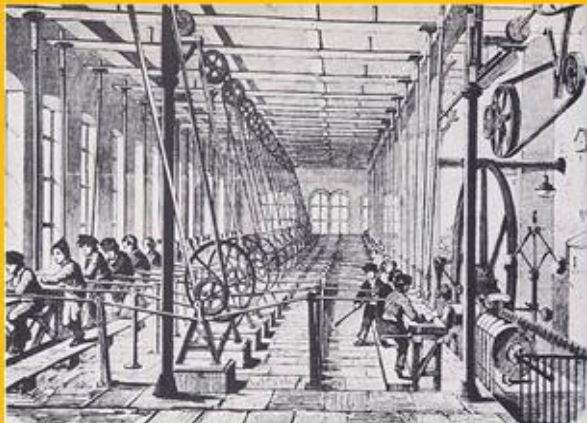


FREITAS et al, 2010). A seguir apresentamos as aplicações sociais que a máquina de Watt proporcionou na sociedade.

Com o ganho de rendimento das máquinas aperfeiçoadas por Watt, começaram a surgir outras aplicações, sendo implementadas máquinas térmicas para deslocar navios, locomotivas, drenagens e também para utilização nas fábricas com a mecanização dos meios de produção.



As utilizações das máquinas térmicas foram fundamentais para mudanças nas relações de trabalho ao impor o modo de produção em larga escala e também para aumentar a produtividade do sistema fabril, os industriais passaram a demitir os trabalhadores homens e preferiram o emprego da mão de obra infantil e de mulheres. Sendo que ambos passaram a buscar ocupação profissional para complementar a renda da família que foi reduzida com a demissão dos trabalhadores adultos do sexo masculino. Devido ao desemprego acelerado, e a oferta de mão de obra abundante os salários pagos aos trabalhadores tornaram-se muito abaixo do mínimo para a sobrevivência.



Com o aumento da industrialização e do êxodo rural o cenário urbano modificou-se e as pequenas vilas foram transformadas em grandes cidades que não apresentavam condições para a expansão rápida de sua população. O saneamento e a água encanada eram itens básicos para condições favoráveis de vida, e eram escassos, sendo restritos aos bairros mais ricos da cidade. Enquanto os bairros mais pobres sofriam com ausência desses itens e apresentavam ainda elevada criminalidade e as moradias eram insalubres, além da ausência da coleta de lixo. Com isso era comum o surgimento e a disseminação de doenças relacionados a contaminação da água e do ar, por exemplo a diarreia e inflamações no sistema respiratório.



No quadro a seguir apresentamos questões norteadoras que foram utilizados juntos com o texto para auxiliar na discussão da História da Termodinâmica.

Quadro 1: Questões norteadoras do primeiro texto histórico/didático.

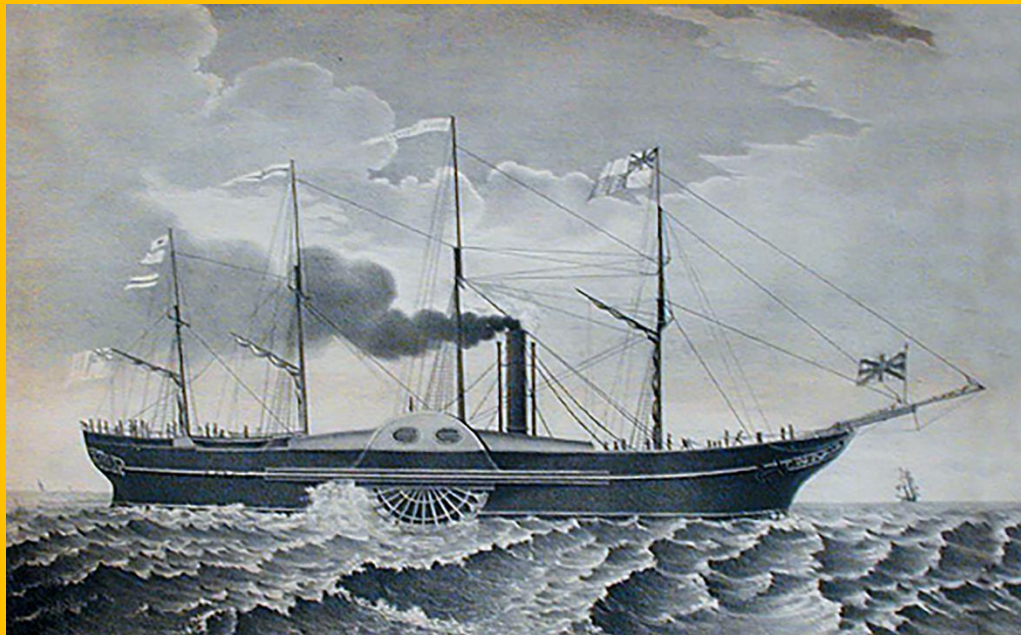
1. Quais são os fatores que permitiram o surgimento da Revolução Industrial na Inglaterra?
2. Por que as máquinas térmicas a vapor foram empregadas nas minas inglesas?
3. Apresente os pontos favoráveis e desfavoráveis das máquinas de Savery, Newcomen e Watt.
4. O processo de mecanização dos meios de produção teve impactos na sociedade? Justifique.

Fonte: Autoria Própria.

TEXTO 2: A NATUREZA DO CALOR E A CONSTITUIÇÃO DA TERMODINÂMICA

Um importante cientista que é destacado pelos manuais didáticos no estudo das máquinas térmicas é Nicolas Léonard Sadi Carnot, filho de um importante militar francês Lazare Carnot Marguerite, que se destacou durante a Revolução Francesa.

As máquinas térmicas também foram empregadas na área militar, devido a máquina de brocar canhões desenvolvido por Watt, que foram utilizados pelo exército inglês e a marinha da Inglaterra empregou os navios movidos a vapor que eram mais eficientes do que os de vela que utilizavam da força dos ventos, sendo possível transportar mais soldados e canhões. Além disso os interesses expansionistas levaram a disputas militares envolvendo a Inglaterra e a sua coligação de nações aliadas contra os impérios da França, no qual os franceses saíram derrotados devido a superioridade militar dos ingleses advindos da utilização das máquinas térmicas (PASCOAL, 2016).



A economia da Inglaterra era fundamentada no aço empregado na fabricação de navios e de canhões e na utilização do carvão mineral extraído de jazidas, com centenas de metros de profundidade.

Ele foi o responsável pela reorganização do exército francês durante a revolução, chegando ao cargo de ministro de guerra. Lazare conduziu experimentos com disparos de projeteis e concluiu dos seus estudos que a teoria dinâmica do calor era o responsável pelos fenômenos observados durante o disparo de projeteis (PASCOAL, 2016). Nicolas Léonard Sadi Carnot tornou-se interessado pelo estudo das máquinas térmicas pois acreditava que era importante aperfeiçoar as máquinas térmicas francesas para superar o poderio militar inglês.

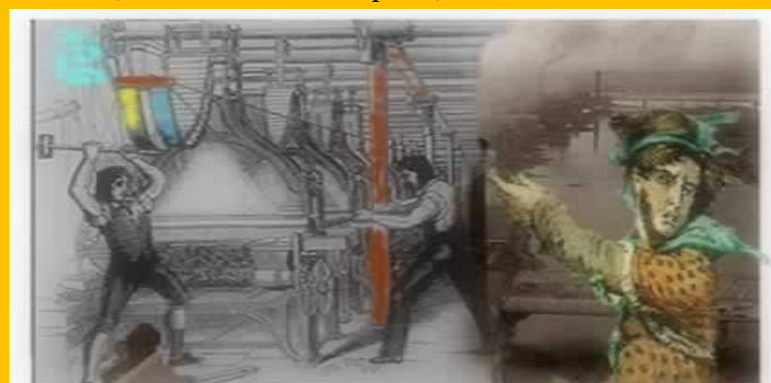
Ao analisar a máquina térmica Carnot inferiu que o calor flui entre um corpo que possui uma temperatura maior para outro corpo com temperatura menor, não ocorrendo vice-versa, sendo que o calórico só poderia ser reestabelecido no equilíbrio, se não houvesse atrito este fato é um dos principais responsáveis pelo baixo rendimento das máquinas. Entretanto Carnot empregava o calórico para elucidar a produção da potência motriz que segundo ele, o calórico não era consumido nesse processo, mas ocorria o transporte do calórico de um corpo quente para o frio (PASCOAL, 2016).

A teoria do calórico apresentava um arcabouço postulacional que primava: (a) O calórico é um fluído elástico que permeia as substâncias, sendo que suas partículas constituintes se repelem mutuamente e são atraídas pelos constituintes de outras substâncias; (b) O calórico é sensível às variações de temperatura, escoando de um corpo quente para um mais frio, quando colocados em contato térmico; (c) Durante um processo físico, o calórico não pode ser criado nem destruído sendo, portanto conservado. Isto mostra que o calórico tem massa e que está se conserva durante um processo físico; (d) Existem dois tipos de calórico: sensível e latente. O calor sensível significa que a mudança no calórico está associada à variação da temperatura, já o calor latente não está ligado à alteração de temperatura (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009).

Carnot apesar de utilizar o calórico na explicação dos processos térmicos, ainda era ciente das limitações da teoria e por falta de uma base conceitual melhor empregou essa teoria na sua única obra, sendo reconhecido apenas postumamente os seus rascunhos que indicavam uma origem mecânica para o calor, sendo este fato mais condizente com as observações experimentais. É importante ainda salientar que Carnot veio a óbito devido a uma epidemia de cólera que assolou, Paris em 1832, devido ausência de saneamento básico. Apesar disso, o trabalho de Carnot não teve ampla aceitabilidade pela comunidade científica, pois nesse período as teorias para serem aceitas tinham que ter respaldos empíricos e formalismo matemático para receberem a devida atenção das academias científicas (PASCOAL, 2016).

Enquanto as discussões nas academias de ciências acerca do calor aumentavam, a sociedade era impactada com a mecanização dos meios de produção e conseqüente acúmulo de capital, resultante da exploração da mão de obra da classe operária. Nos centros industriais como a cidade de Manchester afloravam diferentes problemas sociais, muitos decorrentes do processo de exploração do trabalho humano em condições subumanas, com enriquecimento da classe burguesa (MARX, 2011).

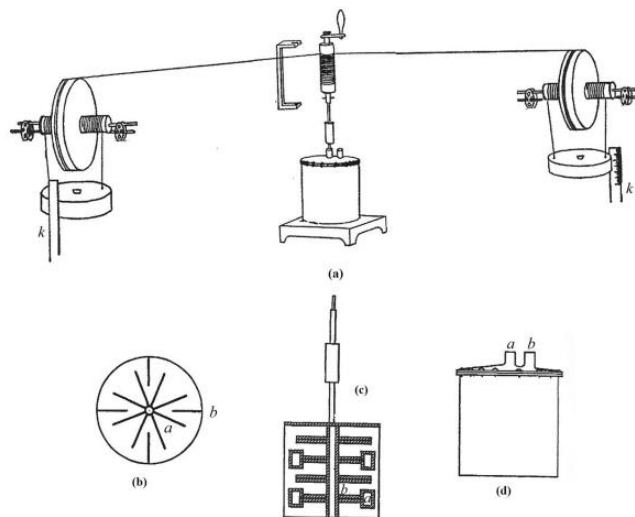
Por volta de 1811, o proletariado revoltou-se contra a classe opressora detentora dos meios de produção. Liderados por Ned Ludd, os operários invadiram as fábricas e destruíram as máquinas, e ficaram conhecidos como “quebradores de máquinas”. O movimento do Ludismo, como ficou conhecido, foi uma das primeiras revoltas da classe operária contra os avanços tecnológicos. Este movimento desorganizado e violento era contemplado por esquadrões ludistas que transitavam pelas ruas inglesas portando martelos, pistolas e outros objetos utilizados para concretizar seus objetivos. Durante anos o Ludismo foi a principal forma de manifestação, no entanto, os manifestantes constataram que não eram as máquinas que os prejudicavam, e sim os proprietários que abusavam dos trabalhadores, então, logicamente, seria contra aqueles que estes deveriam rebelar-se. Os trabalhadores liderados por Feargus O’Connor e William Lovett, em 1836, constituíram o movimento do Cartismo, movimento introduzido pela “Associação dos Trabalhadores”. Mais organizado que o Ludismo, o Cartismo reivindicava, de forma ordenada, melhores condições laborais com jornadas mais brandas, direitos políticos, sufrágio universal, voto secreto, entre outros direitos exigidos pelos cartistas. Essas reivindicações foram transcritas em um documento, o qual ficou conhecido como a “Carta do Povo” e enviado ao Parlamento inglês. Com a não apreciação por parte do Parlamento, começaram os grandes movimentos e revoltas do proletariado este movimento, como o Ludismo, foi perdendo forças e se dissolvendo, no entanto, algumas conquistas políticas e leis trabalhistas foram consolidadas pelo Cartismo. Foi neste quadro de lutas da classe hipossuficiente contra a classe burguesa, que aquela se conscientizou que o resultado positivo só viria com a união da classe operária. Foram criadas, durante os movimentos do Ludismo e do Cartismo, as “tradeunions”, que nada mais eram que associações formadas pelos operários com o intuito de exigir melhorias na vida laboral. Em uma lenta evolução, as “tradeunions” formaram os sindicatos, que, na época de sua gênese, eram os focos de resistência à exploração burguesa, entretanto, na época, tinham muita dificuldade de ação. Greves, protestos e revoltas dão resultado positivo à classe operária, já que em 1824 há, na Inglaterra, a declaração da licitude do direito de coalizão, fortalecendo o proletariado (LHULLIER, 2013, p. 14).



Manchester era uma cidade com intensos atrativos comerciais devido à expansão da industrialização e esse foi um dos fatores que atraiu a família de James Prescott Joule para essa cidade. Ao chegarem na cidade eles, aplicaram os recursos financeiros na implantação de uma fábrica de cerveja, que apresentou rendimentos financeiros elevados devido: Ao alto consumo de bebidas alcoólicas que era mais limpa do que a água utilizada para consumo humano que era advinda de poços e fontes, contaminadas por dejetos humanos e industriais, que também era lançado nas vias públicas. Com isso o consumo em excesso de bebidas contribuiu para o aumento da fortuna da família de Joule, além do processo de mecanização dos meios de produção a partir do emprego de máquinas térmicas, permitindo assim a redução dos custos de produção a maximização os lucros (CALADO, 2011).

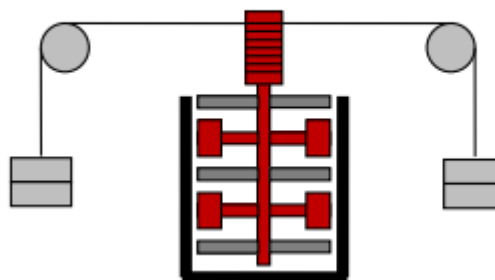
É nesse ambiente técnico que propiciou para o surgimento das ideias de James Prescoule Joule que contribuiu para a elucidação da natureza do calor. Porém Joule, inicia seus estudos investigando os fenômenos elétricos e magnéticos, que também estavam originando vultuosos ganhos financeiros. Esses estudos iniciais de Joule estavam pautados em princípios técnicos, no que tange o calor produzido na passagem de corrente elétrica, as ideias de Joule, apontavam que esse calor produzido era oriundo do efeito mecânico. Joule, passou a estudar também a natureza do calor envolvido nas máquinas térmicas com o intuito de aperfeiçoar esse equipamento (QUEIRÓS, 2012).

Sendo assim, para estudar de forma mais aprofundada o calor, Joule desenvolveu o aparato experimental, apresentado na ilustração ao lado. Sendo que em (a), temos as duas polias e um rolo em (b), o eixo do aparelho de atrito na vertical, em (c) o eixo do aparelho do atrito na horizontal, em (d) é um vaso de cobre em que o



aparelho girando firmemente equipado com dois buracos na tampa, um para a inserção do eixo, e o outro para a inserção do termômetro (SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014).

Esse aparato era composto em uma roda de pás dispostas horizontalmente em uma cuba com água. Essa roda era movimentada pela ação de um molinete ligado por duas massas. A queda das massas deslocava as pás por meio do molinete e a fricção gerada pelo movimento das pás aquecia a água (SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014).



A cuba atuava como um calorímetro sendo composta por um vaso cilíndrico revestido de cobre, que tinha em seu interior 4 placas dispostas verticalmente fixadas em intervalos de 90° e um agitador de latão com 8 pás presas em um eixo vertical, isolado por um revestimento de madeira, que atuava para minimizar as perdas de calor por condução. Eram então colocados objetos com massa de 13 kg, sendo suspensos por cordas em um eixo interligado a uma roldana. As roldanas moviam-se fazendo girar o eixo vertical da roda de pás, depois de caírem de uma altura de 1,50 metros, eram realocados no eixo e caíram novamente (DÍAZ, 2014).

Joule estipulou a relação entre a produção de calor a partir de uma corrente do tipo voltaica obtendo medidas precisas da temperatura da água em contato com uma porção em formato de espiral de um circuito, com termômetros de elevada sensibilidade, permitindo realizar a determinação com precisão do calor específico do cobre e do latão da roda de pás (SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014).

Apesar dessa investigação experimental o trabalho de Joule não foi conclusivo para determinar a existência ou não do calórico, pois a comunidade de cientistas, não aceitavam os resultados frágeis de Joule e exigiam mais resultados e de mais experimentos que elucidasse a natureza calor, para que as discussões da origem dinâmica do calor, seja aceita (CALADO, 2011). Sendo assim, Joule realizou outra série de experimentos para elucidar que o calor obtido seria de origem dinâmica. Para isso Joule realizou experimentos semelhantes aos já efetuados, por ele, mas dessa vez utilizou de jogos diferentes de palhetas para a roda de pás: Estas passaram a ser compostas por uma de latão, uma de ferro forjado e a última um liga de ferro e carbono. E por sugestão de Michael Faraday, Joule realizou o experimento em banho de mercúrio, devido este elemento apresentar baixa capacidade calorífica na água, com essa nova série de experimentos Joule conseguiu demonstrar de forma mais clara a relação o trabalho e o calor que não dependia dos materiais e dos processos utilizados. Ele ainda teve

êxito em obter o valor para a constante J de 4,154 J/cal, além de inferir que a energia potencial poderia ser transformada em energia cinética e a energia cinética seria transformada em calor, com isso o calor e a energia mecânica estariam relacionados (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009).

Com o aperfeiçoamento das máquinas térmicas essas passaram a desempenhar cada vez mais um papel central nos conflitos militares e devido à necessidade militar os centros científicos, passaram também a englobarem os colégios militares que se associaram aos centros politécnicos para a formação de engenheiros, técnicos e médicos com capacidades de atuar no exército. É nesse ambiente universitário que Hermann Ludwig Ferdinand von

Helmholtz, recebe a sua formação inicial em medicina, além de ter estudado Física e Filosofia. Buscando obter

A difusão dos centros politécnicos pela Europa, buscava suprir a necessidade de mão de obra militar qualificada para a época, visando manter no poder as monarquias absolutistas, tenebrosas com à ascensão ao poder da burguesia, ou mesmo expandir os impérios para outros reinos. Diante disso era importante o emprego de tecnologias para o melhoramento dos armamentos, sendo empregados as

vantagens militares, Helmholtz analisou o equivalente mecânico do calor buscando uma aplicação mais ampla de tal forma que um corpo apresenta energia mecânica se este pode realizar trabalho. Essas reflexões podiam ser utilizadas tanto para máquinas, como para a natureza o que incluía os seres humanos, pois qualquer gasto de energia tem como consequência o trabalho e qualquer trabalho realizado resultaria no consumo de energia. Deste modo, o trabalho passaria ser um fenômeno quantitativo que era representado por um conjunto de equações matemáticas. Além disso, as análises de Helmholtz no estudo do calor levaram este cientista a inferir que a natureza apresenta uma reserva de energia que não é aumentado e nem reduzido, possibilitando à conclusão de que a energia na natureza não sofre alteração, bem como, a quantidade de matéria (CALADO, 2011).

Diante desse cenário era comum o emprego de cientistas nos centros politécnicos que eram os centros acadêmicos mais prestigiados do reino, e um desses professores que trabalhava em um centro politécnico na Prússia que englobava regiões da atual Alemanha e da Polônia foi Rudolf Julius Emmanuel Clausius. Este cientista estudou os fenômenos envolvidos com o calor, partindo inicialmente da análise de uma extensa literatura já produzida acerca da natureza do calor. Obtendo então que durante o trabalho realizado pelas máquinas térmicas este não resulta apenas no deslocamento de calor da fonte quente para a

fonte fria, resultado ainda no consumo de calor. Desta forma o calor pode ser gerado pelo trabalho mecânico, sendo impossível realizar um processo cíclico visando unicamente transferir calor entre um corpo mais frio para um mais quente. Willian Thomson contribuiu com essa discussão ao desenvolver os aportes matemáticos para os conceitos de irreversibilidade e dissipação do calor. Sendo obtida formulação mais estruturada para o valor de equivalência que representava o fluxo entre um corpo quente para um corpo frio, provocando a transformação do calor em trabalho, no qual está, é equilibrada pela conservação de trabalho em calor, de tal forma que o calor fluía entre um corpo frio para um quente. Portanto munidos de tais avanços conceituais Clausius, compreendeu a distinção nos processos reversíveis e os irreversíveis. Clausius ainda propôs a substituição do valor de equivalência que assumia uma quantificação positiva pela entropia: Em qualquer transformação que se produza num sistema isolado, a entropia do sistema aumenta ou permanece constante. Não há, portanto, qualquer sistema térmico perfeito no qual todo o calor é transformado em trabalho, existe sempre uma determinada perda de energia (BASSALO e FARIAS, 2015).

No quadro a seguir é apresentado questões norteadoras que auxiliam na discussão da História da Termodinâmica.

Quadro 2: Questões norteadoras para o segundo texto histórico/didático.

1. Qual a importância que as máquinas térmicas tinham para a Inglaterra?
2. Porque Carnot, interessou-se pelo estudo das máquinas térmicas?
3. Com o avanço da industrialização, as máquinas térmicas foram as responsáveis pelo aumento das desigualdades sociais? Justifique.
4. Quais fatores contribuíram para o estudo de Joule, acerca do calor?
5. Os estudos de Joule, permitiram a refutação da teoria do calórico? Justifique.
6. Quais foram as contribuições de Helmholtz, Thomson e Clausius para o desenvolvimento da Termodinâmica?
7. A sociedade influenciou nos estudos acerca da natureza do calor?

Fonte: Autoria Própria.

Assim sendo, o produto educacional 2 é um caminho para a utilização da História da Ciência pautado pelo caso histórico da Termodinâmica em uma abordagem contextual para fomentar a internalização de conceitos acerca da Termodinâmica e da Natureza da Ciência, constituindo-se assim uma possibilidade para o avanço da zona de desenvolvimento proximal dos estudantes.

REFERÊNCIAS

BALDOW, R. MONTEIRO-JÚNIOR, F. N. Os livros didáticos e suas omissões e distorções na História e no desenvolvimento da Termodinâmica. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**. v.3, n.1, p. 3-19, 2010.

BASSALO, J, M, F. FARIAS, R, F. Clausius: pequena história da entropia. **História da Química**, v.10, n.2, p. 95-100, 2015.

BRAGA, M. GUERRA, A. REIS, J.C. Surge um novo mecanismo: A máquina a vapor. In: _____ . **Das luzes ao sonho do doutor Frankenstein** (século. XVIII) -Col. Breve História da Ciência Moderna, v.3, ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2005, p. 29-38.

BERNAL, J. D. Science in History. Vol. 2: **The Scientific and Industrial Revolutions**. Londres: Pengum Books, 1951.

BOMFIM, J. REIS, J, C. GUERRA, A. Problematizando a ideia de gênios isolados: Mayer e Joule no episódio da conservação da energia. **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**, v.1, n. Extraordinário, p. 1264-1270, 2016.

BORGES, D, B, de S. **A construção de uma abordagem histórica para o ensino de Termodinâmica: Sadi Carnot e o estudo da máquina térmica**. 2016. 111f. Dissertação de Mestrado em Ensino, História e Filosofia das Ciências e da Matemática, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2016.

BRAUDEL, F. **Civilisation Matérielle, Économie et Capitalisme, XVème-XVIIIème Siècle**, 3 Tomes, Paris: Librairie Armande Collin, 1979.

CARDWELL, S, L. **James Joule- A biography**. Manchester: Manchester University Press, 1989.

CARVALHO, B, C. GOMES, L. C. Análise história do conceito de calor nos trabalhos de Joule e Implicações para o Ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 22, n.3, p. 264- 290, 2017.

CARNEGIE, A. **James Watt**. New York: Doubleday, Page & Company, 1905.

CASTIGNANI, A. "**Sadi Carnot e o desenvolvimento inicial da termodinâmica clássica**". 1999. 112f. Dissertação de Mestrado em História da Ciência, Departamento de História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 1999.

CALADO, J. **Haja Luz: Uma História da Química através de tudo**. Lisboa: Ist Press, 2011.

CEPA- Disponível em: <http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/carvao.html>. Acesso em 30/07/2018.

CHANG, R. GOLDSBY, K, A. **Química**. Tradução M. Pinho Produtos digitais, Unipessoal Lda. 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

DEANE, P. **A Revolução Industrial**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1973.

DÍAZ, S, M, F. **Sadi Carnot y La Segunda Ley de La Termodinámica: La Historia de la Ciencia como Pedagogía Natural**. 2014. 76f. Tese de Doctor en Educación. Programa Interinstitucional en Educación, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2014.

ENGELS, F. **A situação da classe trabalhadora na Inglaterra**. Tradução B.A. Schumarun, São Paulo: Boitempo, 2010.

FARIAS, L, M. SELLITTO, M, A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, v.12, n.17, p. 01-106, 2011.

FREITAS, R, de, O. et al. **Máquinas a vapor e a Revolução Industrial**, 2014. Disponível em: <https://otaviobatista.files.wordpress.com/2014/03/001-mc3a1quinas-a-vapor.pdf>. Acesso em: 21/11/2017.

FONSECA, P, C, D. Keynes: O liberalismo econômico como mito. **Economia e Sociedade**. v.19, n.3, p. 425-447, 2010.

GANDRA, L. P. SILVA, G, R, da. Modelagem e História da Ciência: Uma Abordagem pedagógica para a estrutura atômica no 9º ano do Ensino Fundamental. **Góndola, Enseñanza y Aprendizagem de las Ciencias**. v.13, n.1, p. 14-32, 2018.

GOMES, J, L.A.M.C. FORATO, T, C. M. SILVA, A, P.B. Temperatura e Teorias sobre a Natureza do Calor: Um projeto de aplicação da História e Filosofia da Ciência ao Ensino de Física. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais**. VIII. Campinas: ENPEC, p. 1-13, 2011.

GOMES, L, C. A Ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.29, n.3, p. 1030-1073, 2012.

GOMES, J, L, de A, M, C. **Conceito de Calor**: Contexto Histórico e Proposta para sala de aula. 2013. 135f. Dissertação de Mestrado em Ensino De Ciências e Matemática. Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

HOBBSAWM, E, J. **A Revolução Francesa**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

HOBBSAWM, E, J. **Da Revolução Industrial inglesa ao imperialismo**. Tradução: Donaldson Magalhães Garschagen. 5 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2000.

HOBBSAWM, E, J. **A Era das Revoluções: 1749-1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

KUHN, T, S. **The Structure of Scientific Revolutions**. 2. Ed. Chicago: The University Of Chicago Press, 1962.

KUHN, T, S. **A tensão essencial**. Tradução: Marcelo Amaral Penna-Forte. Rio Claro: Editora Unesp, 2011.

LANDERS, D. S. **Prometeu desacorrentado: Transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental desde 1750 até a nossa época**. Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

LEAL, G, C, S, de, G. FARIAS, M, S, S, de. ARAUJO, A, de, F. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualit@os Revista Eletrônica**. V.7, n.1, p.1-11, 2008.

LHULLIER, F, D. **A vigência das cláusulas normativas dos acordos e convenções coletivas de trabalho**. 66 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Direito, Universidade Federal de Sant Catarina, Florianópolis, 2013.

MANTUANO, T. A revolução dos vapores na navegação marítima. In: Congresso Brasileiro de História Econômica e História das empresas. **Anais**. XIII, 2017, Nitéroí, ANPHE, 31p, 2017.

MARX, K. **O capital**: Crítica da Economia Política. Livro 1- O processo de produção do capital. Tradução: Rubens Enderle. São Paulo: Boitempo, 2011.

MARTINS, R. de. A. Mayer e a conservação de energia. **Caderno de História e Filosofia da Ciência**. v.6, s/n, p. 63-95, 1984.

MEDEIROS, A. Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **Física na Escola**. v. 10, n.1, p. 4-16, 2009.

MIGLIOLI, J. Dominação burguesa nas sociedades modernas. **Crítica Marxista**. v.22, s/n, p. 13-31, 2010.

MOSLEY, M. LYNCH, J. **Uma História da Ciência**. Tradução: Ivan Weisz Kuck. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

NAHOUM, A, V. **A regulação do trabalho e a Ação Sindical em perspectiva Comparada: Brasil e Grã-Bretanha**. 2008. 206f. Dissertação de Mestrado em Filosofia e Teoria Geral do Direito, Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica**. Vol 2: Flúidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4 ed. Rio de Janeiro: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, R, M, de. Revolução Industrial na Inglaterra: Um Novo Cenário na Idade Moderna. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. v.1, n.2, p 89-116, 2017.

PÁDUA, A, B, de. et al. Termodinâmica clássica ou Termodinâmica do equilíbrio: Aspectos conceituais básicos: **Semina- Ciências Exatas e Tecnológicas**. v.29, n.1, p. 57-84, 2008.

PÁDUA, A, B, de. PÁDUA, C, G, de. SILVA, J, L, C. **A história da Termodinâmica Clássica: Uma Ciência Fundamental**. Londrina: EDUEL, 2009.

PALAVRA, A, M, F. CASTRO, C, A, N. Termodinâmica suas leis e história. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**. Série II. n. 31, p. 11-21, 1988.

PASCOAL, A, dos S. **Evolução Histórica da máquina térmica de Carnot como proposta para o ensino da segunda lei da Termodinâmica**. 2016. 142f. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

QUADROS, S. **A Termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas**. São Paulo: Scipione, 1996.

QUEIRÓS, W, P. **A articulação das culturas humanísticas e científicas por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule**: Contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora. 355 p. Tese de doutorado em Educação para Ciências, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.

RIBEIRO, H. AZEVEDO, V, R, de. FARIAS, V, H. **A miséria da classe operária inglesa (1830-1840)**. **Núcleo de estudos contemporâneos**, 2012. Disponível em: <http://www.historia.uff.br/nec/sites/default/files/victorazevedovictorfariashiltonclop.pdf>. Acesso em: 10/08/2017.

SABKA, D, R. **Uma abordagem CTS das máquinas térmicas na Revolução Industrial utilizando o RPG como recurso didático**. 2016. 132f. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física. Instituto De Física, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2016.

SANTOS, L, A. **A Revolução Industrial**. (2004). Notas de aula. Disponível em: <https://slidex.tips/download/aula4-a-revoluao-industrial-lenalda-andrade-santos>. Acesso em 27/07/2018.

SANTOS, Z, T, S, dos. **Ensino de Entropia: Um enfoque histórico e epistemológico**. 2009. 166 f. Tese de doutorado em Educação, Centro de Ciências Sociais e Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009, (b).

SHIGUNOV-NETO, A. GOMES, R, M. O processo de introdução da maquinaria na indústria fabril e o trabalhador. **Revista eletrônica de Ciências Administrativa**. v.1, n.2, p. 1-8, 2003.

SILVA, A, P, B. FORATO, T, C, de, M. GOMES, J, L, de A, M, C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.30, n.3, p. 492-537, 2013.

SILVA, V, de S. et al. Máquinas térmicas e revolução industrial, uma análise e suas principais características. In: Congresso Nacional de Educação. **Anais**. III. 2016. Natal. CONEDU. 7p. 2016.

SOUZA, R, da S. SILVA, A, P, B, da. ARAUJO, T, S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: Reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.36, n.3, p. 3301-3309, 2014.

SPROULE, A. **Os grandes cientistas- James Watt**. São Paulo: Editora Globo, 1992.

STARR, M, K. Changing agendas for operations management. **Gestão & Produção**, v.12, n.3, p. 317-321, 2005.

STINNER, A. et al. The Renewal of case studies in Science Education. **Science & Education**. v.12, s/n, p. 612-643, 2003.

SUÁRES, M, J. **Estudio del impacto de los conceptos fundamentales de la Termodinámica em el desarrollo de la máquina térmica y el surgimento de la revolución industrial**. 2011. 75f. Maestría em Enseñanza de las ciencias exactas y naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellin, 2011.

TAVARES, L, A. **James Watt: A trajetória que levou ao desenvolvimento da máquina a vapor vista por seus biógrafos e homens de ciências**. 2008. 74 f. Dissertação de Mestrado em História da Ciência, departamento de Educação, Pontifca Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2008.

TEIXEIRA, E, S. FREIRE-JÚNIOR, O. EL-HANI, C, N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da Natureza da Ciência de estudantes de Física. **Ciência & Educação**. v. 15, n.3, p. 529-556, 2009.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia editora nacional, 2008.

VERBICARO, L, P. Os direitos humanos à luz da história e do sistema jurídico contemporâneo. **Revista Jurídica Cesumar-Mestrado**, v. 7, n. 1, p. 31-56, 2007.

VINCETINO, C. DORIGO, G. **História Geral e do Brasil**. Vol. 2. 2 ed. São Paulo: Scipione, 2013.

WATANABE, M. Count Rumford's First Exposition of the Dynamic Aspect of Heat. **The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society**. v. 50, n.2, p. 141-144, 1959.