



**O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA A PARTIR DE UMA  
ABORDAGEM INTERNALISTA E EXTERNALISTA DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

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.

## **PRODUTO 1: O DESENVOLVIMENTO DA TERMODINÂMICA A PARTIR DE UMA ABORDAGEM INTERNALISTA E EXTERNALISTA DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

Nesse produto apresentamos uma discussão sobre o desenvolvimento da Termodinâmica a partir de uma abordagem que destaca o empirismo pautado em evidências experimentais (internalista) e outra que considera a influência de fatores sociais, econômicos e políticos nas práticas científicas (externalista). Consideramos para englobar os aspectos internalista e externalista o contexto da revolução industrial iniciada na Inglaterra que posteriormente se dissipou para o restante da Europa. Este período é marcado por profundas transformações econômicas, sociais que transformaram a sociedade, e que também moldou a forma no qual nos relacionamos com a natureza.

Nesse sentido a Termodinâmica emerge como uma teoria científica durante a primeira e segunda revolução industrial, sendo responsável pelo estudo das inter-relações entre a matéria e a energia, ou em outras palavras, dedica-se a compreensão do sistema (definido como a totalidade de um conjunto material, que pode conter sólidos, líquidos e gases) e suas relações com o meio (que é tudo que circunda o sistema de estudo).

Além disso no âmbito da Química a Termodinâmica passa a compor um ramo de estudo denominado de Termoquímica que é capaz de prever se uma reação irá acontecer ou não quando os reagentes estão em condições específicas por exemplo, temperatura, pressão e concentração. Este conhecimento é importante, por exemplo na síntese de compostos em laboratórios de pesquisas, na fabricação em escala industrial de produtos químicos, ou mesmo em pesquisas para a compreensão dos processos biológicos em células (CHANG e GOLDSBY, 2013).

Compreender o desenvolvimento da Termodinâmica não é apenas ampliar os óculos pelo qual observamos e interferimos na natureza, trata-se de um processo mais complexo que não desvincula o papel social no desenvolvimento de uma teoria e passa pela construção coletiva da ciência em diferentes espaços. Sendo assim, entendemos que a construção da Termodinâmica é resultado de um processo longo e que contou com a contribuição de diversos cientistas, em contextos distintos, que se debruçaram sobre estudos de fenômenos que apresentavam relações entre matéria e energia, resultando por exemplo, na formulação atual da 1º e da 2º lei da Termodinâmica.

Nosso interesse é apresentar uma discussão dessa construção sem fixar um período exato para o início do desenvolvimento da Termodinâmica pois teríamos de trilhar um caminho que não privilegia os aspectos sociais, os avanços e retrocessos no desenvolvimento dessa teoria, bem como, a exploração do proletariado que se acentuou devido ao acúmulo de riquezas nas mãos da elite dominante que utilizou o poder das máquinas para obliterar as classes trabalhadoras.

Esses aspectos vão ao encontro com o referencial histórico cultural no qual os aspectos sociais influenciam o desenvolvimento dos indivíduos. Além disso, percorrer um caminho linear da Termodinâmica contribui para a formulação de uma visão estática da produção do conhecimento científico no qual os cientistas são vistos como gênios isolados da sociedade que não comentem erros e que suas ideias advêm unicamente de lampejos de genialidades.

Nesse sentido os trabalhos analisados na revisão da literatura apresentaram quantitativamente uma maior vertente de aproximação com uma versão linear da Termodinâmica, enquanto as abordagens com aspectos internalista e externalista encontra-se limitados a formação de professores, sendo que intervenções didáticas pautadas nessa vertente não foi evidenciada nas pesquisas analisadas.

Sendo assim, buscamos analisar as influências das abordagens internalista e externalista para o desenvolvimento da Termodinâmica que contribuiu para a mecanização dos meios de produção. Essa mecanização era embasada em uma abordagem técnica advinda da necessidade de aperfeiçoamento das máquinas térmicas, porém somente com essa concepção não era suficiente para atender a demanda por melhorias na eficiência dessas máquinas, sendo necessário um estudo aprofundado acerca da natureza do calor.

Enquanto isso os experimentos envolvendo a calorimetria desvelaram uma concepção simplicista pautado no poder explanatório da teoria do calórico para a temperatura. A energia por sua vez mesmo sendo alvo de diversas investigações ainda se encontrava limitado por concepções da metafísica, sendo que a superação dessa visão ocorreu de fato apenas com a formulação do princípio da conservação de energia. As bases para o desenvolvimento do arcabouço teórico que transcendia a visão técnica pela científica emergiu no contexto histórico da revolução industrial que foi o plano de fundo para o desenvolvimento da 1° e 2° leis.

A eclosão da revolução industrial na Inglaterra advém inicialmente das condições favoráveis que a situação política apresentada no país, que contrastava com o fim do regime absolutista na França e a posterior revolução francesa, enquanto os principados na atual

Alemanha e na Itália disputavam territórios e influência política entre si. Enquanto na o último grande conflito por poder na Inglaterra ocorreu no século XVII com a revolução gloriosa e a queda da monarquia absolutista com a ascensão da burguesia<sup>1</sup> que contribuíram para a consolidação do regime parlamentarista<sup>2</sup>.

No contexto em que ocorreu a Revolução Industrial, a política externa da Inglaterra era essencialmente pautada na exploração comercial das suas colônias espalhadas pelo globo, além disso esse país adotava práticas mercantilistas para garantir uma balança comercial favorável. Enquanto a burguesia em processo de ascensão, realizava vantajosos acordos comerciais com Portugal, os quais renderam toneladas dos metais preciosos para os ingleses extraídos das terras brasileiras, na época, colônia portuguesa (HOBSBAWM, 2000).

O processo de consolidação do poder pela burguesia levou ao afastamento do mercantilismo no mercado interno ficando limitado apenas a política externa principalmente nos monopólios comerciais, enquanto o liberalismo econômico<sup>3</sup> no mercado interno ganhava impulso com a burguesia que visava aumentar o acúmulo de riquezas e, como consequência, disso passou a exercer maior influência nas decisões políticas da Inglaterra (QUEIRÓS, 2012).

Enquanto isso as antigas relações feudais que ainda persistiam no meio rural inglês passavam a dar lugar as grandes propriedades adquiridas pela classe burguesa. Nesse panorama a maior parte da população da Inglaterra ainda era rural, porém o interesse comercial da burguesia levou a migração da agricultura de subsistência para a comercial.

---

<sup>1</sup> A burguesia é a classe dominante no sistema capitalista que chegou ao poder na Inglaterra com o advento da revolução gloriosa. Essa classe detém os meios de produção e apresenta 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).

<sup>2</sup> Em um contexto de organização política o parlamentarismo representa o poder exercido pelo legislativo que oferece sustentação política para o poder executivo. No âmbito da pré-revolução industrial o regime absolutista perde seus poderes com a revolução gloriosa e o parlamento passa a controlar o país levando ao surgimento do estado liberal inglês, sendo que o parlamento estava empenhado para o enriquecimento da burguesia, que consistia no pré-requisito para a consolidação do capitalismo (VICENTINO e DORIGO, 2013).

<sup>3</sup> O liberalismo econômico preza pela livre circulação de mercadorias e de pessoas, assim como, a não intervenção do estado na economia, a inexistência de barreiras alfandegárias no mercado interno e a ausência de entraves de cunho protecionistas. Podemos acrescentar que no contexto da revolução industrial, além desses fatores o enriquecimento das classes dominantes foi acelerado não apenas pelo liberalismo econômico, mas também por leis que protegiam os meios de produção de forma a aumentar o lucro e garantir o acúmulo de capital para a classe dominante (FONSECA, 2010).

Hobsbawm (2000), apontou que um dos mercados impulsionados por essa migração de eixo, foi o comércio de algodão que era explorado das colônias e a produção interna de lã.

A respeito da produção de algodão e de lã estes ainda eram cultivados essencialmente de forma arcaica nos primórdios da revolução industrial, sendo que o trabalho do camponês era essencial para a produção agrícola. Como a substituição da agricultura de subsistência ocorreu de forma gradual houve um aumento da produção alimentícia levando a expansão do comércio, inicialmente interno e posteriormente os comerciantes passaram a buscar o mercado externo para exportar o excedente da produção, com isso a renda elevou-se mesmo nas camadas mais baixas e estimulou o crescimento populacional (DEANE, 1973).

A política externa, por sua vez era propícia aos comerciantes pois o império inglês ultramarino era o maior do mundo e com uma frota mercantilista gigantesca possibilitou alcançar os pontos mais remotos do império. Com isso os comerciantes dispunham dos meios necessários para o escoamento da produção excedente e aos poucos ocorreu a expansão do mercado externo (HOBBSAWM, 2000).

Com o controle cada vez maior do parlamento inglês a burguesia estava disposta, a acelerar de vez a mudança para a agricultura comercial um exemplo disso é a promulgação da Lei dos Cercamentos de Terras, instituída por parlamentares da aristocracia rural, que destituiu terras de camponeses para transformá-las em pastagem para as ovelhas visando suprir a demanda crescente de lã, do mercado externo. Os pequenos produtores, pressionados pela aplicação da Lei, tinham apenas duas opções: (a) entregar as suas terras para os grandes proprietários oriundos da burguesia e passarem a trabalhar para esses novos senhores feudais ou (b) vendiam suas propriedades a preços irrisórios e emigraram posteriormente para as cidades.

Com o êxodo rural uma nova realidade se constrói: ao chegarem as cidades, esses ex pequenos produtores, geralmente com uma prole de grande quantidade, se sujeitavam a trabalhar por um pequeno salário e para complementar a renda familiar suas crianças e mulheres também precisavam trabalhar, além disso os baixos salários, dada a mão de obra que era abundante, ocasionavam em jornada de trabalho entre 15 a 18 horas (LANDERS, 1994; RIBEIRO, AZEVEDO e FARIAS, 2012).

O controle do parlamento pela burguesia se consolidava no cenário político e esse alinhamento é evidente com a promulgação da lei dos cereais que visava além de enrijecer ainda mais a concentração de terras nas mãos dos grandes latifundiários, contribuiu também para estimular a emigração dos camponeses restantes para engrossar as camadas de mão de

obra abundante e barata para as fábricas nas grandes cidades. Além de retirar as barreiras protecionistas, ao permitir que o trigo fosse importado caso o preço do produto estivesse muito baixo no mercado interno (HOBSBAWM, 1977).

Além disso, Hobsbawm (2000) apontou que a emigração de irlandeses para a Inglaterra em busca de melhores condições de trabalho devido a miséria acentuada que a agricultura apresentava naquele país, contribuiu para elevar a quantidade de desempregados na Inglaterra industrial, conseqüentemente diminuindo ainda mais o salário levando à uma constante tensão entre os trabalhadores ingleses e irlandeses.

Mas a mão de obra barata não era resultante apenas desses processos como explicou Braudel (1979), eram oriundos também de regiões pobres com uma agricultura em decadência. De acordo com esse autor as culturas novas de forrageiras representavam um símbolo para o novo sistema de plantio, que exigiam solos leves com uma característica arenosa levando a uma supervalorização das terras que apresentam esse aspecto.

Por outro lado, as regiões que apresentavam solos mais argilosos, até então eram as melhores terras para o cultivo de cereais, mostraram-se pouco adaptáveis as culturas das forrageiras, passando então a serem abandonadas devido à queda acentuada do preço do trigo que apresentava altos rendimentos quando cultivados nos solos leves. Buscando o equilíbrio da produção agrícola nas regiões desfavorecidas cresce a demanda pela indústria artesanal rural pautado no sistema “putting-out” que possibilitou os burgueses fornecerem as ferramentas necessárias para os artesãos produzirem os itens para a sua subsistência.

Entretanto com a expansão da manufatura capitalista de origem urbana o fornecimento desses produtos passa a ser interrompido para atender outras demandas de ferramentas para utilização das fábricas. Com isso a classe social de artesão é praticamente destruída e toda a mão de obra empregada nas atividades é liberado e passa a constituir um exército de trabalhadores para o emprego nas indústrias, fornecendo assim uma reserva de mão de obra dominada pelo capital (BRAUDEL, 1979).

Com o excedente de mão de obra concentrando-se nos centros urbanos e com o alinhamento do parlamento inglês com a burguesia e a situação estável que a política proporcionada sem conflitos em larga escala, internos e externos, aliado como acúmulo de metais preciosos, a revolução industrial ganha impulso em solo inglês (HOBSBAWM, 1977). A agricultura comercial nesse cenário de consolidação do capitalismo moderno a partir da expansão da revolução industrial é impactada diretamente com a mecanização da produção de

algodão, que se tornou possível graças aos lucros obtidos com a exploração colonial do vasto império inglês.

O cultivo desse produto ainda demandava uma vasta mão-de-obra, com o emprego de técnicas arcaicas de preparo do solo (arados de perfuração, grades de cavalos), porém com o desenvolvimento de semeadoras otimizou o sistema de plantio elevando assim a produtividade da colheita.

Além disso, a burguesia possuía capital excedente para investir na mecanização, o que levou Eli Whitney que era engenheiro, construir uma máquina de descaroçar algodão que consistiu em um avanço tecnológico na agricultura pois o processo de retirar o caroço do algodão exigia contingente elevado de trabalhadores, enquanto a mecanização otimizou o capital investido nas práticas agrícolas e aumentou a produtividade, entretanto essa mecanização ampliou o desemprego (STARR, 2005).

Com o aumento da massa de trabalhadores rurais desempregados ocorreu o crescimento do êxodo rural para áreas urbanas transformando cidades médias em grandes centros industriais tais como, Lancashire, Manchester, Liverpool dentre outras e duplicou a população de Londres em poucas décadas. Nesse sentido o crescimento da miséria da população apresentava contraste com os bairros burgueses nessas cidades marcados pelo luxo extremo enquanto os bairros das classes operárias eram insalubres, ainda mais que os locais de trabalho sendo caracterizados pela ausência total de saneamento básico, bem como, pelo abandono das casas e pelo aumento da criminalidade e ocupação irregular de áreas que verdes que rapidamente se transformavam em bairros residenciais (ENGELS, 2010).

Essas cidades foram as primeiras da história da civilização a sofrerem com a poluição, no qual a situação torna-se desoladora com o ar apresentando uma baixa qualidade devido a poluição lançado pelas chaminés das grandes fábricas e pela queima de carvão mineral e além disso os rios sofreram com o lançamento de dejetos industriais em larga escala. Aumentando a incidência de doenças associadas a poluição do ar e das águas elevando a mortalidade da população pobre consideravelmente, refletindo na expectativa de vida da população que varia entre 35 a 45 anos para as camadas mais baixas da população (HOBSBAWM, 2000). É interessante destacar que essa situação de aumento da população nas cidades não era um fenômeno único da Inglaterra, a população da França e de outros países da Europa Ocidental começavam a emigrarem para as cidades acelerando a urbanização.

Enquanto o desenvolvimento científico começava a atrair incentivos dos governos europeus que entenderam que a ciência era importante para o desenvolvimento do país.

Sendo assim, as academias científicas estavam emergindo em diversos cenários na Holanda, nos estados da Alemanha, que disputavam qual academia contavam com mais cadeiras científicas. Este investimento iria elevar a Alemanha ao status de potência científica no fim do século XIX e início do século XX, levando a língua alemã a ser o idioma oficial da ciência com o surgimento de um novo império que não era político e sim científico que influenciava a Rússia, Estados Unidos e o Japão (BERNAL, 1951).

A importância da ciência era tão grande que chegava a ponto que nenhuma corte europeia poderia ser completa sem uma academia de artes e ciência que eram mantidos pelos mecenas oriundos da nobreza, que eram competidos entre os artistas dedicados a produção de poemas e peças teatrais e os cientistas que conduziram experiências espetaculares em homenagem aos nobres.

No leste europeu o império russo direcionava as suas academias para o estudo científico das extensas matérias primas tais como, a madeira, alcatrão, linho, ferro, dentre outros minerais. E com o intuito de elevar a Rússia potência econômica e militar na Europa, Peter o grande que era o imperador deste vasto país, começou a importar cientistas da Alemanha, França e da Suíça para consolidar seus planos e concomitantemente formar cientistas nacionais para expandir as redes científicas pelo país (BERNAL, 1951).

Todas essas academias contavam com seus respectivos jornais científicos dedicados à divulgação dos estudos realizado pelos diversos cientistas. Perceber-se então o esforço das monarquias em implementar a ciência como uma estratégia para o crescimento econômico e fortalecimento dos regimes absolutistas.

Nesse cenário de avanço da ciência a Inglaterra estava atrasada em relação as demais regiões da Europa Ocidental principalmente no campo das ciências naturais. E a França que era a principal potência que disputava a hegemonia colonial com a Inglaterra apresentava um direcionamento maior das atividades científicas, com a academia francesa obtendo importante recursos financeiros da monarquia absolutista sendo que a prática científica ainda era uma atividade altamente elitizada. Esse interesse da elite intelectual francesa estava pautado não apenas no crescimento econômico, mas também na defesa das suas fronteiras frente aos principados e condados na atual Alemanha e Itália que almejavam em aumentar o seu poderio na Europa (PASCOAL, 2016). Com isso os produtos oriundos da ciência francesa eram superiores os dos ingleses, além disso as universidades na Inglaterra eram pouco expressivas frente aos centros intelectuais que eram representados pelas universidades na França.

## A respeito da educação na Inglaterra Hobsbawm argumentou

A educação inglesa era uma piada de mau gosto, embora suas deficiências fossem um tanto compensadas pelas duras escolas do interior e pelas universidades democráticas da Escócia calvinistas que lançou uma corrente de jovens racionalistas que foram em busca de uma carreira no sul do país: James Watt, Tomas Telford, Lourdon Mec Adam, James Mul. Orfort e Cambridge, as duas únicas universidades inglesas, eram intelectualmente nulas, como eram também as sonolentas escolas públicas (HOBSBAWM, 2000, p. 52).

Com isso percebe-se que a educação de forma geral se encontrava defasado na Inglaterra e a Sociedade Real apesar de ter uma tradição científica elevada na Inglaterra e ter passado vários cientistas importante por essa instituição, ainda carecia de novas ideias científicas para se consolidar no cenário internacional, visto que essa instituição só iria atingir esse respaldo durante a revolução industrial. Nesse sentido mesmo os principados e estados do que atualmente corresponde a Alemanha apresentavam os melhores processos técnicos/industriais, superiores aos dos ingleses como exemplo a fabricação de lentes (HOBSBAWM, 2000).

Esse autor lança uma dura crítica acerca da origem da revolução industrial no território inglês

Felizmente poucos refinamentos intelectuais foram necessários para se fazer a revolução industrial. Suas invenções técnicas foram bastantes modestas, e sob hipótese alguma estavam além dos limites de seus artesões e dos que trabalhavam em suas oficinas ou das capacidades construtivas de carpinteiros, moleiros e serralheiros: a lançadeira, o tear, a fiadeira automática. E nem mesmo máquina cientificamente mais sofisticada, a máquina a vapor de James Watt, necessitava de mais conhecimentos de física do que os disponíveis até então há quase um século, a teoria adequada das máquinas a vapor só foi desenvolvida pelo francês Carnot na década de 1820 e podia contar com várias gerações de utilização para a sociedade, essa prática de máquinas a vapor, utilizava principalmente nas minas de carvão. Dadas às condições adequadas e necessárias, as inovações técnicas da revolução industrial praticamente se fizeram por si mesmas, exceto talvez na indústria química (HOBSBAWM, 2000, p. 53-54).

Apesar das controvérsias acerca dos fatores que suscitaram o pioneirismo da revolução industrial em solo inglês, a burguesia apresentava-se mais solidificada na Inglaterra do que nos demais países, tais como a França, no qual a monarquia absolutista dominava o país e a burguesia francesa ocupava uma posição de pouca relevância política, porém com o advento da Revolução Francesa<sup>4</sup> a burguesia aumenta a sua influência política no território francês.

---

<sup>4</sup> A revolução francesa refere-se a um período de 1789-1799 marcado pela intensa transformações no setor político na França que correspondeu a queda da monarquia absolutista representado pelo rei Luís XVI e a emersão de ideias de liberdade, igualdade e fraternidade que apresentaram diferentes significados nos setores da sociedade. Em razão da importância histórica de tal revolução está constituiu o marco do fim idade moderna e o

Enquanto os jacobinos e os girondinos que foram os principais grupos políticos que lutavam pelo poder durante a Revolução na França, a atividade industrial acelerou na Inglaterra e conseqüentemente a demanda por matérias-primas. Com isso ocorreu o rápido desmatamento dos recursos florestais ingleses visando a produção de carvão vegetal que alimentava as nascentes indústrias que necessitavam de fornos para a separação do ferro das impurezas, além disso empregava-se o carvão vegetal no aquecimento doméstico, devido as baixas temperaturas da Inglaterra (FREITAS, et al, 2010).

Nesse sentido a principal matriz energética da Inglaterra era o carvão vegetal, porém as áreas florestais eram limitadas e foram intensamente exploradas levando a busca por novas fontes de energia dentre essas o carvão mineral que se encontrava em abundância no solo inglês devido as condições geológicas que permitiram o acúmulo de matéria orgânica ao longo de milhões de anos (HOBSBAWM, 2000).

Para extrair esse mineral era necessárias galerias com centenas de metros de profundidade que demandava mão de obra braçal para realizar a extração do carvão mineral. Acerca do trabalho nas minas Engels relatou

Em seu inteligente relatório, o doutor Barham mostra como a respiração, numa atmosfera pobre em oxigênio e saturada de poeira e de fumaça, produzidas pela pólvora dos explosivos utilizados nas minas, afeta negativamente os pulmões, provoca perturbações nas funções cardíacas e fragiliza os órgãos digestivos; constata ainda que o trabalho extenuante e particularmente o descer e subir escadas agrava os males. Por isso, homens que começam a trabalhar precocemente nas minas não atingem o desenvolvimento físico das mulheres que trabalhavam na superfície, muitos morrem ainda jovens, vítimas de tuberculose e outros na meia-idade, em razão da tuberculose lenta é comum ainda o envelhecimento precoce, que torna os homens ineptos para o trabalho entre 35 e 45 anos. Sendo que muitos operários contraem inflamações agudas nas vias respiratórias, levam a conseqüências fatais (ENGELS, 2010, p. 276).

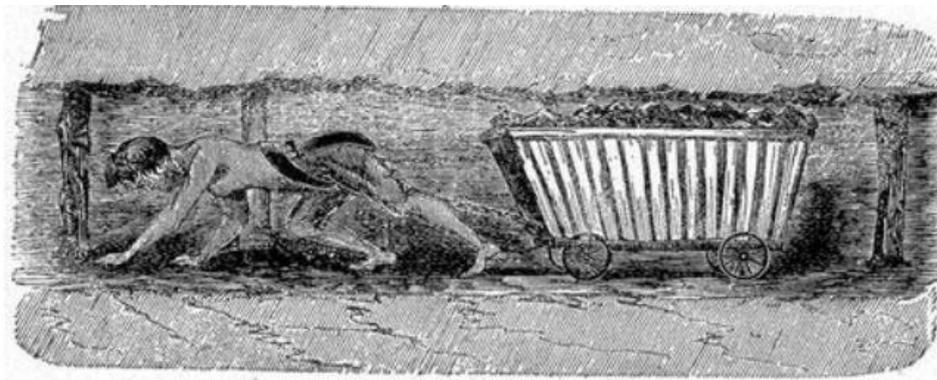
A situação nas minas de ferro e carvão eram similares e comumente as crianças de quatro até oito anos eram empregados, principalmente no transporte de minérios do local de exploração até a entrada da galeria com jornadas de trabalho acima de 12 horas diárias. Nesse véis o trabalho nas minas eram extremamente duros sendo necessário transportar o minério em recipientes maiores que a própria criança, em solos irregulares, frequentemente com lama

---

início da idade contemporânea, essa revolução ainda inspirou a queda das monarquias absolutistas na Europa e a difusão dos ideais de liberdade nas colônias na América. Para um estudo mais aprofundado sugere-se consultar a obra de Hobsbawm (1996) sobre a revolução francesa.

devido a posição geológica da Inglaterra<sup>5</sup>, em corredores com pouca disposição vertical que exigia que as crianças tivessem que engatinhar para passarem por essas aberturas (ENGELS, 2010). A situação precária do trabalho nas minas é ilustrada na figura 1 a seguir.

**Figura 1:** Representação do trabalho infantil nas minas.



Fonte: (SANTOS, 2009, p. 47- b).

É importante ressaltar que a imensa exploração dos trabalhadores nas minas ainda era mais rentável para estes do que a labuta no campo, no qual comumente os camponeses morriam de fome. Ainda em relação ao trabalho infantil nos grandes centros urbanos ocorria mudanças nas relações de trabalho com a mecanização das fábricas que provocou a demissão em massa de adultos do serviço, levando os grandes proprietários utilizarem crianças no trabalho devido a facilidade de “domesticação”, além de poderem ser utilizadas como mecânicos devido ao seu pequeno corpo que possibilitava explorar o interior dos equipamentos. O trabalho feminino também era muito requisitado pois as mulheres seriam, mais “dóceis” no trabalho sendo facilmente suplantada pelas ordens dos patrões (SABKA, 2016).

Além disso as crianças mais velhas de idades de oito anos em diante eram expostas a longas jornadas de trabalho sendo preferíveis as mais novas devido à finura dos braços que torna ideal para o trabalho, no qual comumente sofriam acidentes, vindo a perderem membros e conseqüentemente aumentam a quantidade de mendigos amputados nas ruas das grandes cidades, pois não tinha qualquer lei trabalhista para proteger os empregados (ENGELS, 2010).

---

<sup>5</sup> As condições geológicas foram favoráveis a Revolução Industrial na Inglaterra, devido esse país se localizar em uma bacia sedimentar que apresenta jazidas de recursos minerais como o carvão mineral. Os demais minerais necessários para a expansão industrial tais como o ferro, foram obtidos, também nas vastas colônias que o império dispunha ao longo do globo (TEXEIRA, et al. 2008).

Na figura 2 disposta a seguir é apresentado as condições de trabalhos para as crianças nas fábricas inglesas.

**Figura 2:** Mão de obra infantil na Revolução Industrial.



Fonte: <http://www.planetaeducacao.com.br/portal/artigo.asp?artigo=504>. Acesso em 10/12/2017.

Devido à expansão da industrialização aumentava a demanda por minerais especialmente por ferro e carvão mineral com isso as minas tinham que expandir a profundidade das galerias levando a ultrapassarem o nível do mar, para ampliar a produção de minerais. A consequência direta disso foi que as minas passaram a ter infiltrações nos estágios finais, pois as escavações cortavam os lenções freáticos. Surge a necessidade de equipamentos cada vez mais potentes, para retirar o excesso de água do interior das minas e levar em segurança a mesma para fora da jazida. Para suprir essa necessidade, social e econômica, inicia-se o emprego de máquinas térmicas a vapor para retirar água das minas (BRAGA, GUERRA e REIS 2005).

Com a necessidade prática iniciou-se um investimento de tempo e técnica para a elaboração de máquinas que bombeassem as águas das minas. Nesse ínterim o construtor militar Thomas Savery construiu e patenteou uma máquina de vapor que poderia ser utilizada na retirada de águas das minas em 1698. Savery utilizou do princípio de funcionamento de

uma máquina térmica à vapor se remete aos dispositivos de êmbolo-pistão elaborado por 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 figura 3 temos a máquina de Papin, que é a precursora das panelas de pressão.

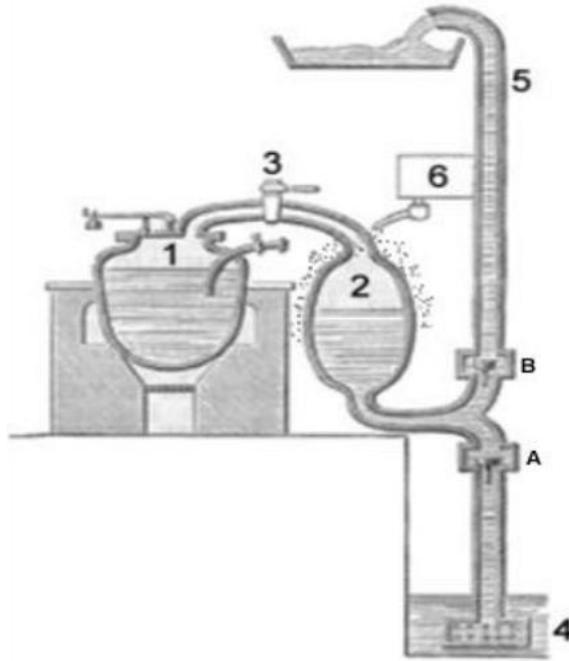
**Figura 3:** Máquina de Papin.



Fonte: <https://salesol.wordpress.com/2010/05/07/marmite-de-papin-ou-a-minha-pressionella-marmite-de-papin-ou-a-minha-pressionella/>. Acesso em: 08/01/2018.

A máquina de Savery figura 4, 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.

**Figura 4:** Esquema de funcionamento da máquina a vapor.



Fonte: SUARÉZ, 2011, p. 37.

O princípio de funcionamento consistia em 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 (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), pelo duto (5), abrindo então a válvula B (SUARÉZ, 2011).

De acordo com Freitas et al (2010), Savery discorreu que a máquina desenvolvida por ele realizava a mesma função que um conjunto de cavalos trabalhando concomitantemente, tornando-se assim um meio de estimar a potência produzida pela máquina. Apesar de inovadora a máquina de Savery apresentava desvantagem por funcionar em altas pressões e consumir elevadas quantidades de carvão, ocasionando que seu uso fosse difundido em locais que tivessem carvão mineral em grandes quantidades (PACOAL, 2016).

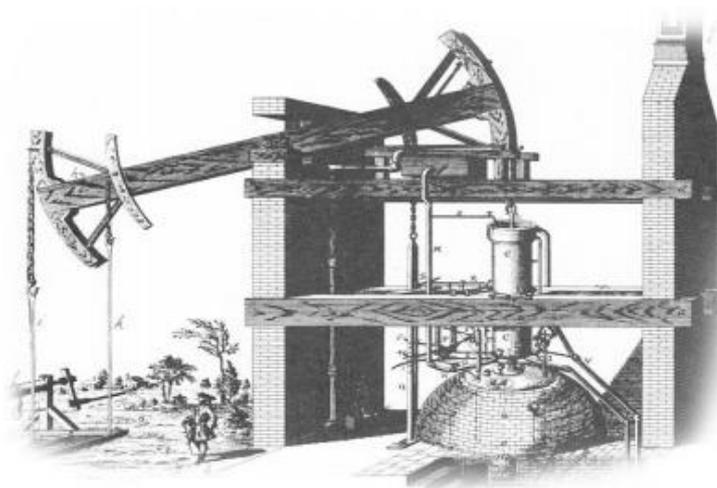
Além disso Freitas et al (2010) argumentou que a máquina de Savery demonstrava pouco rendimento, no qual a maior da energia consumida pela máquina tinha que ser empregada para gerar o vapor e aumentar a pressão, porém o próprio vapor empurrava a água para fora, levando a perdas de calor durante a troca do vapor e água, ocasionando um rendimento de

apenas 1% do equipamento. Para Quadros (1996) a máquina de Savery tinha o mérito do pioneirismo da mecanização nas minas, porém a contribuição desse invento acabaria aí pois o autor apontou que a mineração de carvão exigia uma forma eficiente de bombeamento da água, eficiência essa que Savery não tinha desenvolvido na sua máquina.

Já o trabalho das minas avançava com túneis com profundidade cada vez mais elevada e exigindo um desgaste físico gigantesco dos trabalhadores e os riscos se elevaram, pois, a máquina de Savery exigia um aumento da pressão conforme aumentava-se a profundidade que a água deveria ser expelida, levando com isso ao aumento da temperatura que levava a explosão da caldeira provocando sérios acidentes, mesmo fatais entre os trabalhadores. Somando-se a isso as tubulações que transportavam a água não resistiram as altas pressões, sendo necessário o trabalho com pressões de no máximo 4 atmosferas, o que deslocava a água dezenas de metros, portanto ineficiente para explorar grandes profundidades (FREITAS, et al, 2010).

Diante do baixo rendimento e dos perigos da máquina de Savery, diversos técnicos/inventores estavam interessados em aperfeiçoar o equipamento devido aos vultuosos recursos financeiros que receberiam com a patente de tal máquina, dentre esses Thomas Newcomen e John Calley proporiaram um sistema que utilizassem um cilindro e um pistão móvel. Essa máquina térmica a vapor apresentou uma diversidade de utilizações maiores do que a de Savery, sendo possível não apenas bombear a água das minas, também era possível elevar pesos e a geração de movimento a partir do vapor da água (SILVA et al, 2016). Na figura a seguir é apresentado esse equipamento.

**Figura 5:** Máquina a vapor durante seu funcionamento em minas de carvão.



Fonte: (PASCOAL, 2016, p. 54).

O funcionamento dessa máquina consistia em uma cadeira disposta abaixo do cilindro, sendo gerado uma pressão de apenas 0,14 atm, inferior a pressão gerada na máquina de Savery. O motor passava por um bracelete que estava em uma parede sólida, as hastes do bracelete permaneciam ligadas a uma extremidade à carga no qual almejava-se mover enquanto a outra extremidade ficava o pistão que se movimentava no interior do cilindro (FREITAS, et al, 2010).

Ainda de acordo com os autores

O vapor produzido na caldeira, quando a válvula era aberta o vapor preenchia o cilindro empurrando o pistão para cima. Quando o pistão chega na extremidade superior do cilindro, a válvula é aberta e água fria é jogada no cilindro por meio de um tanque de água. Com a condensação do vapor, o pistão é empurrado para baixo por ação do seu próprio peso e da pressão atmosférica que atua sobre ele. Quando o pistão chega na extremidade inferior do cilindro, a válvula é aberta e a água resultante da condensação do vapor é expelida do cilindro, logo em seguida a válvula é aberta e o vapor novamente preenche o cilindro e empurra o pistão (FREITAS, et al, 2010, p. 8-9).

Em uma linguagem menos técnica essa máquina consistia em uma bomba de vapor que reduzia a pressão no interior do cilindro para retirar a água das minas e com o aumento da pressão ocorreria a retirada da água para o ambiente exterior. Essa máquina apresentava ainda um sistema básico de automação e de controle, permitindo que as válvulas abrissem e fechassem de forma automática, minimizando assim os riscos para os operários que utilizavam esse equipamento (SANTOS, 2009-b).

Para esse autor os inventores ainda eram pautados pela técnica prezando pelo empirismo não sendo importante a origem de qual fenômeno físico era responsável pelo funcionamento do equipamento. Apesar de as ideias que mais circulavam no meio técnico/acadêmico apontavam para o fogo ou calor como os responsáveis pelo funcionamento, porém as pesquisas ainda eram inconclusivas e não recebiam a devida atenção dos inventores e engenheiros desde que a máquina continuasse a realizar trabalho e gerar lucro.

A máquina a vapor de Newcomen auxiliou nas atividades nas minas, porém as necessidades sociais e econômicas, principalmente com a necessidade de aumentar a profundidade das minas e extrair mais estanho, cobre, chumbo e carvão, pressionavam pelo desenvolvimento de novas tecnologias para retirar o excesso de água nos túneis, sendo que para atingir esse fim o conhecimento técnico não correspondia sozinho a essas necessidades de avanços no aperfeiçoamento das máquinas.

Mesmo a máquina de Newcomen apesar das vantagens expostas não possui um alto rendimento e necessitava de aperfeiçoamentos, nesse sentido o interesse técnico pelas máquinas começava a ganhar espaço no meio acadêmico visto que era comum as universidades receberem nos departamentos de engenharia máquinas a vapor para consertar.

Apesar disso, as universidades ainda não eram pólos de produção de conhecimentos vindo a atingirem esse patamar no século XVIII, essa função era exercida pelas instituições reais de pesquisa como a Sociedade Real (Inglaterra), Academia Francesa de Ciências (França), Escola Politécnica (Atual Alemanha) (BALDOW e JÚNIOR-MONTEIRO, 2010).

Uma dessa remessas de máquinas, para conserto vai para a universidade de Glasgow na Escócia que apresentava respaldo acadêmico por ser um centro intelectual mais autônomo em relação ao controle religioso e por contar um sistema educacional mais rígido. A respeito disso Bernal (1951), relatou que o êxito do sistema educacional na Escócia era devido em grande parte ao intenso intercâmbio com a Holanda (que enfrentou a Inglaterra em diversas disputas coloniais e via na Escócia uma oportunidade de dividir o império inglês a partir do seu interior, pois os escoceses tinham sofridos diversos abusos dos ingleses ao longo dos séculos).

E mais especificamente com o intercâmbio com a Universidade de Leyden e dentre essa leva de cientistas enviados para a Escócia, destacou-se Herman Boerhaave, eminente botânico e médico, que era também muito versado nos estudos de Alquimia com um viés mais científico e menos místico. Contribuindo então com a formação dos egressos das universidades da Escócia com uma sólida base em filosofia natural (Botânica, Medicina e Química). Com essa política educacional bem solidificada as universidades escocesas floresciam como centros intelectuais que procuravam de todas as formas vincular a prática a teoria para contribuir com o avanço científico (BERNAL, 1951).

Nesse ínterim James Watt que atuava como fabricante de instrumentos nessa universidade, mesmo sem ter formação universitária em matemática, aprendeu através da prática a sua profissão. E seu ingresso na universidade se deu graças ao apoio do seu amigo Joseph Black importante professor de físico-química que conseguiu autorização para Watt utilizar as oficinas da universidade devido este não conseguir sucesso comercial com a atividade de equipamentos para navios. Porém foi decisivo o incentivo do professor John Robinson que era graduado em Artes e entusiasta da filosofia natural na mesma universidade para que Watt estudasse a máquina de Newcomen (TAVARES, 2008).

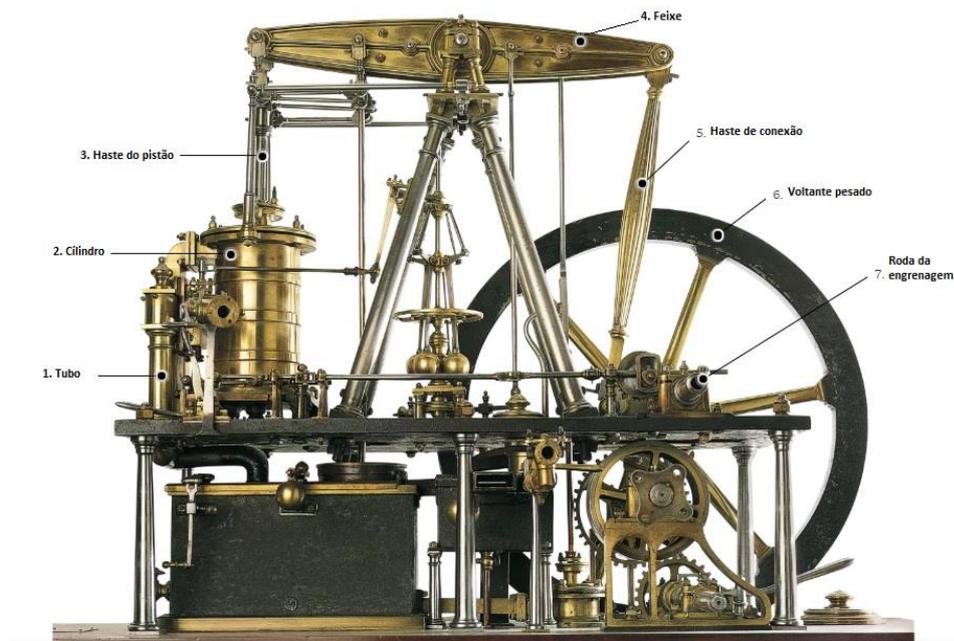
De acordo com esse autor o primeiro exemplar que Watt recebeu para consertar foi encaminhado pelo professor John Anderson que utilizava essa máquina como instrumento demonstrativo para as aulas práticas. Esse autor ainda afirmou que Watt

Foi provavelmente por sugestão de Watt que o professor Anderson recuperou o modelo de máquina de Newcomen que seria enviado para Londres. Anderson entregou-o para Watt para ser colocado em funcionamento. “Eu consigo consertar isso”, disse Watt, “como um meto mecânico”. Mas, quando terminou, o modelo funcionava mecanicamente de modo tão perfeito como um motor de tamanho real. Watt foi além dos aspectos puramente mecânicos do problema; o modelo tornou-se ciência em suas mãos. O que mais impressionou Watt quando examinou a máquina a vapor de Newcomen foi a grande quantidade de combustível que ela consumia. Estudando a causa disso, chegou à conclusão de que os problemas eram os sucessivos aquecimentos e resfriamentos do cilindro (TAVARES, 2008, p. 13).

Em outras palavras ao estudar o funcionamento desse equipamento Watt verificou que o vapor sofria o processo de resfriamento no cilindro, uma parte de energia era perdida nessa etapa, diminuindo o rendimento total do equipamento. Então ele projetou uma máquina cujo o cilindro seria sempre aquecido, reduzindo o consumo de combustível, enquanto a máquina de Newcomen empregava o ferro na construção de motores do cilindro, o modelo projetado por Watt utilizava do bronze que era melhor condutor de calor. Com tanta energia sendo dispersa no aquecimento do cilindro, Watt propôs aumentar a superfície exposta do cilindro para aumentar a condensação do vapor de forma proporcional ao cilindro. Com o cilindro frio o preenchimento ocorria com vapor de água, e muito desse vapor era devolvido no estado líquido mesmo aumentando o tamanho do cilindro e empregando o bronze, a perda de energia ainda continuava aumentando proporcionalmente ao tamanho da máquina (TAVARES, 2008).

Empenhado em solucionar o problema da máquina de Newcomem, Watt investigou as propriedades do vapor a partir de vários experimentos detalhados minuciosamente por Carnegie (1905). Durante a condução desses experimentos, Watt participava intensamente das discussões científicas acerca da natureza do calor, levando então ao seu afastamento das discussões dos inventores, fato que garantiu uma liberdade de pensamento maior desvinculados de caminhos metodológicos seguidos de forma dogmática pelos inventores e engenheiros. Dessa discussão científica acerca da natureza do calor, emergiu a ideia de adicionar um segundo cilindro para favorecer a condensação do vapor nesse ponto. Com essa modificação o novo protótipo de Watt, figura 6 ficou cinco vezes mais potente e reduziu em impressionantes 75% o consumo de combustíveis (TAVARES, 2008; FREITAS et al, 2010).

**Figura 6:** Máquina a vapor de Watt fora de escala.



Fonte: Adaptado de: <https://www.dkfindout.com/uk/science/amazing-inventions/steam-engine/>. Acesso em: 18/01/2018.

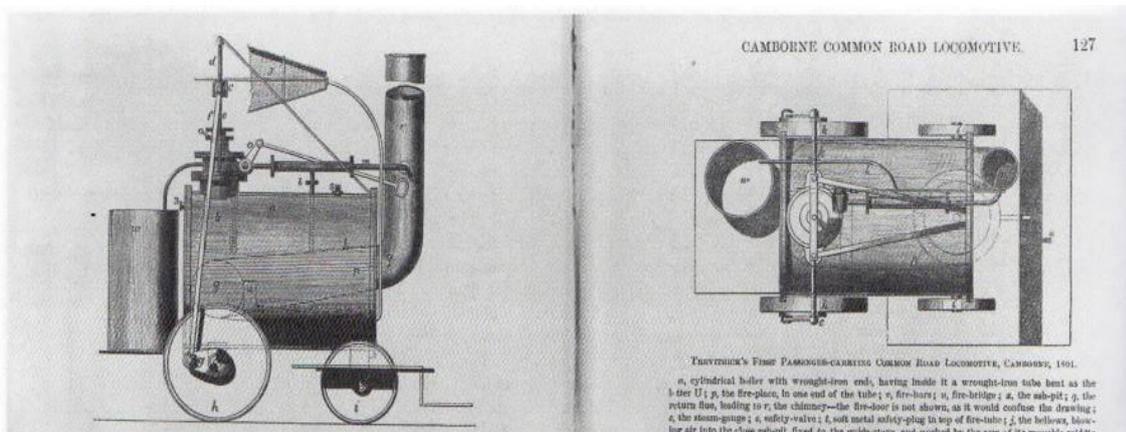
A máquina aperfeiçoada por Watt, passou a ter aplicações industriais imensas e necessitaria altos investimentos para construir em larga escala esses equipamentos. Considerando que uma máquina mais eficiente traria muitos benefícios para a burguesia, ela aproximou-se da academia, financiando estudos para o desenvolvimento de projetos como o de Watt, que recebeu investimentos de John Roebuck e Mathew Boulton (ricos industriais que tinha vários negócios e uma fábrica de pequenos objetos metálicos, sendo visionários em relação a utilização do vapor para o abastecimento hídrico da cidade de Birmingham), (SPROULE, 1992; MOSLEY e LYNCH, 2011).

Esses investimentos para a construção da máquina de Watt renderiam muito para a burguesia, bem como, traria uma fortuna considerável advinda da patente de utilização dessa máquina para Watt. Dessa aproximação de Watt com Roebuck e Boulton surgiria uma importante parceria comercial que abrangeu diversas vertentes da utilização do vapor, como exemplo: o emprego de um cilindro que foi construído para o motor de Watt, aplicado em uma nova máquina para “brocar” canhões, de forma mais eficiente contribuindo assim para o desenvolvimento militar, primordial para manter sobre o controle todos os seus territórios ultramarinos (MOSLEY e LYNCH, 2011). Apesar de todo esse sucesso de Watt, os proprietários de minas estavam descontentes com os altos preços pagos pelas patentes e

começaram a desenvolver cópias dos motores de Watt, dessa luta entre os proprietários das mineradoras e os donos das patentes, Richard Trevithick (Pai e Filho) que eram também inventores, conseguiram dispensar o condensador isolado do motor de Watt, que dependia de baixa pressão para funcionar.

O incremento dos Trevithick consistiu em aumentar a pressão para reduzir o sistema e diminuir o consumo de combustível, com isso logo esse novo motor passou a ser empregado nas minas da Cornualha (uma região localizada no sudoeste da Inglaterra) para fins de bombeamento e ventilação. Contudo devido à redução do motor Trevithick (Filho) percebeu que era possível acoplar rodas e mesmo reservas de água e carvão para deslocamento, com isso surgiu o “Demônio Soprador”, figura 7 (MOSLEY e LYNCH, 2011).

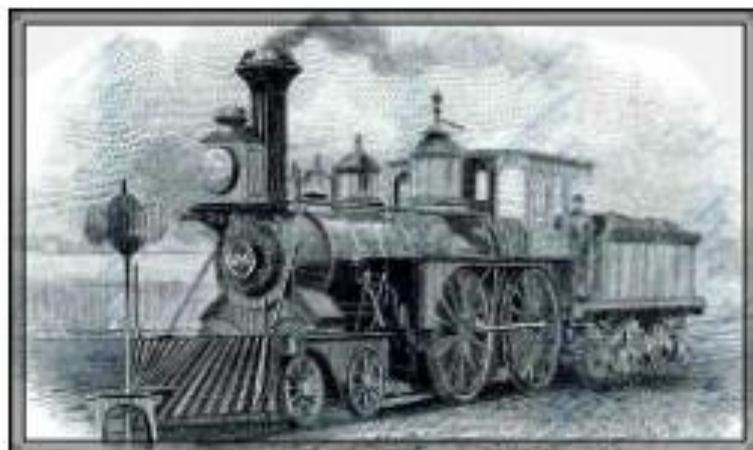
**Figura 7:** Esquema do Demônio Soprador.



Fonte: MOSLEY E LYNCH, 2011, p. 166

Logo as locomotivas a vapor começaram a serem construídas e empregadas nas minas para retirar os minerais extraídos. Na figura 8, temos um exemplo da locomotiva que facilitava o escoamento do carvão retirado das minas, porém ocasionou em mais desemprego com a demissão dos trabalhadores adultos, que emigravam para as grandes cidades e aumentavam a oferta de mão de obra barata e abundante para os burgueses.

**Figura 8:** Locomotiva a vapor.



Fonte:

[https://www.industrialrevolutionresearch.com/industrial\\_revolution\\_steam\\_engine.php](https://www.industrialrevolutionresearch.com/industrial_revolution_steam_engine.php).

Acesso em 30/01/2018.

Com isso os desdobramentos tecnológicos foram cada vez maiores e possibilitaram aplicar as máquinas térmicas para alimentar navios, locomotivas, drenagens, além de constituir a base para a implementação de máquinas para abastecer a crescente atividade industrial inglesa, elevando a Inglaterra a potência industrial e militar mundial graças ao emprego do vapor nas numerosas embarcações da marinha imperial inglesa (FARIAS e SELLITTO, 2011).

Sendo assim, o advento dessas máquinas foi primordial para a mudança das relações de trabalho ao impor o modo de produção manufatureira, essa nova visão que o capitalismo impregnou a sociedade inglesa levou a constante busca por aperfeiçoamento das máquinas de forma a aumentar a produtividade do sistema fabril (SHIGUNOV-NETO e GOMES, 2003).

Com isso era imperativo avançar nas explicações teóricas para fundamentar a máquina térmica a vapor, esforços foram realizados por diversos pesquisadores que contavam com uma circulação maior de ideias devido a difusão das atas dos anais das sociedades científicas que eram traduzidas para a língua materna do pesquisador pela elite científica do país, contribuindo para a discussão coletiva dos estudos teóricos.

Uma das teorias empregadas para tentar elucidar o funcionamento das máquinas térmicas a vapor foi o calórico, que de acordo com Pádua, Pádua e Silva (2009) a teoria do calórico apresentava um arcabouço postulacional que primava

(a) O calórico é um fluido 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. O calor latente não está ligado à alteração de temperatura (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009, p. 40-41).

Essa teoria teve a contribuição de vários cientistas que divulgavam as suas pesquisas nas atas dos jornais científicos, contribuindo assim para a aceitação da teoria do calórico nas principais academias científicas da Europa. Nesse ínterim Antonie-Laurent de Lavoisier era um dos cientistas que estudavam o calórico e devido a sua posição social elevada que

decorria das vultuosas heranças recebidas quando jovem, permitindo ganhar espaço social na corte francesa, sendo nomeado para diversos cargos públicos, dentre esses a de cobrador de impostos do governo francês (BERNAL, 1951).

Aproveitando da sua condição favorável Lavoisier acumulou o capital necessário para a construção de laboratórios particulares e bem equipados para a replicação dos experimentos apresentados em artigos traduzidos de outros cientistas pela sua esposa Marie-Anne Pierrette Paulze, e também formulava seus próprios experimentos para investigar o calor (MOSLEY e LYNCH, 2011). Tendo contato com os últimos avanços na teoria do calórico Lavoisier não apenas replicou o calorímetro desenvolvido por Joseph Black mas aprimorou esse equipamento para conduzir experiências na absorção e liberação de ares, e também analisou como diversas substâncias se comportavam na combustão e calcinação (GOMES, 2013).

Em relação ao desenvolvimento do calorímetro, Lavoisier contou com a ajuda do matemático Pierre-Simon Laplace que era também talentoso na construção de instrumentos científicos, sendo que aceitação em realizar tal trabalho, só ocorreu devido ao empréstimo de uma vultuosa quantia para liquidar as dívidas de jogo do pai de Laplace (CALADO, 2011). Na figura 9, apresenta-se a ilustração do equipamento.

**Figura 9:** Representação do calorímetro.



Fonte: CALADO, 2011, p. 206.

Esse equipamento consistia em uma câmara com três compartimentos dispostos de forma concêntrica que recebia camadas de gelo da mais inferior para o exterior. A única

função do gelo da camada exterior era isolar o gelo do segundo compartimento para evitar a fusão. Com o arrefecimento, fundia uma parte do gelo do segundo compartimento, no qual a quantidade de líquida formada era utilizada para medição do calor transferido (CALADO, 2011).

Com base nos seus estudos, Lavoisier formulou a sua visão sobre o calórico, no qual as partículas que compõem a matéria comum são expostas a duas forças antagônicas, no qual o acréscimo ou a retirada do calórico alteraria o equilíbrio dessas forças, no que tange a alteração da quantidade de calórico, além de separar as partículas. Uma vez que essa última característica contribuía para o entendimento de diversos fenômenos observados na natureza (GOMES, 2012).

A visão de calórico formulada por Lavoisier era congruente com outros pesquisadores que afirmavam em linhas gerais que o calórico era uma substância material, comportando-se como um fluido de natureza elástica, com partículas que se repelem intensivamente. Essa substância material apresentaria atração com partículas da matéria comum conforme a natureza das substâncias e seus respectivos estados de agregação. Essa teoria ainda apresentava influência das concepções gregas que levaram a ideia que o calórico não poderia nem ser criado ou destruído (GOMES, 2012). A teoria do calórico apresentava alto respaldo na comunidade científica pois tinha o poder explicativo para a dilatação dos corpos, a existência de materiais bons e maus condutores de calor, a relação entre calor e temperatura, o calor sensível e o latente.

Além da teoria do calórico outros assuntos eram importantes como a temperatura que já estava sendo formulado a partir dos estudos na calorimetria, devido as investigações quantitativas em relação ao aquecimento e resfriamento de substâncias, em grande parte devido ao aperfeiçoamento do termômetro que foi desenvolvido para quantificar com uma precisão maior os graus de temperatura durante o estudo dos fenômenos que envolviam a ação do calor que era associado à temperatura. Além disso o termômetro foi aperfeiçoado e aplicado nas áreas de medicina, agricultura e meteorologia e possibilitou importantes estudos com a dilatação dos gases, a densidade máxima da água, a umidade atmosférica dentro outros (GOMES, 2012).

Além de Lavoisier outros cientistas, como Benjamin Thompson que estava imerso em outro contexto e buscando resolver outros problemas que não se tratava da eficiência das máquinas térmicas, contribuiu para os estudos acerca da natureza do calor ao investigar o lançamento de projéteis de canhões na Baviera- atual Alemanha.

O caminho para Thompson chegar na Baviera foi longo e adverso e foi advindo dos conflitos militares que a Europa continental enfrentava que exigiam cada vez mais desenvolvimento técnico de armamentos. E com a independência da colônia dos Estados Unidos, Benjamin Thompson fugiu com as tropas inglesas para a Europa devido ao manter a sua lealdade à coroa inglesa, passando a ocupar o cargo de engenheiro militar responsável pelo desenvolvimento de armas de fogo (GOMES, 2012).

Na Inglaterra graças à influência junto à corte Thompson obtém o cargo de subsecretário para os assuntos coloniais e consegue também ser eleito como membro da Sociedade Real, exercendo influência junto a essa organização. E desse enorme prestígio Thompson resolve criar uma outra instituição para fortalecer a ciência inglesa e dessa ideia surge a Royal Institution (Essa instituição era dedicada à popularização da ciência, sendo que mais tarde ficaria famosa pelas suas palestras proferidas no Natal que atraíam multidões desde as camadas mais pobres até a nobreza e um desses espectadores seria Michael Faraday). Para compor o corpo docente da Royal Institution começava-se a importar cientistas da Escócia para elevar a qualidade da Educação Científica na Inglaterra (CALADO, 2011).

Porém na Inglaterra, mais uma vez Thompson foi expulso, dessa vez por vender segredos militares para os franceses, indo se refugiar na Baviera uma das regiões que atualmente constitui a Alemanha, sendo que nessa região o príncipe do condado atribuiu o título de conde devido aos seus serviços prestados na produção de armamentos (MEDEIROS, 2009). De acordo com Watanebe (1959), Thompson ao receber a condecoração mudou o nome para minimizar o impacto que a sua má reputação de traidor ocasionava, passou então a adotar o nome de conde Rumford para homenagear a sua região de nascimento.

O interesse pelo estudo do calor durante a perfuração de canhões era incentivado pelos principados em toda a atual Alemanha pois os conflitos militares nas regiões vizinhas eram constantes. E no cenário internacional a guerra contra o império turco-otomano se acirrava motivados pela expansão territorial deste, bem como, pela busca por mais riquezas, além disso era preciso fortalecer o poder das monarquias absolutistas que estavam receosas de perder o poder que detinham com a crescente ascensão ao poder da burguesia pela Europa especialmente na França e Inglaterra (VICENTINO E DORIGO, 2013).

Procurando fortalecer o principado da Baviera, Rumford trabalhava com a perfuração de canhões que eram construídos de forma rudimentar em arsenais militares possibilitando com isso a observação do aumento da temperatura de projéteis, que era extremamente alta,

maior do que apenas a explosão inicial poderia causar. A partir disso Rumford deduziu que o atrito da bala no cano propiciava a geração de calor que levava ao aumento da temperatura, Rumford apontou que apenas a explosão não era a responsável pelo aumento da temperatura (GOMES, 2012).

Rumford utilizou a teoria mais avançada disponível na época que era o calórico nas suas observações, porém esta não era suficiente para explicar porque o trabalho mecânico apresentava um ponto inesgotável de calórico, já que nessa situação o calórico não poderia ser conservado e também não poderia apresentar uma natureza material. Era, portanto, necessário elucidar a natureza do calor para compreender o aumento da temperatura das munições de canhões. Empenhado na elucidação dessa questão de forma a obter vantagens militares e econômicas em relação as demais nações europeias, Rumford elaborou alguns experimentos que visava investigar a quantidade de calor produzida na perfuração de canhões.

Sendo que nesse processo tanto o canhão perfurado, bem como, o material metálico que revestia o mesmo e as faíscas geradas passavam pelo aquecimento por atrito. Os experimentos consistiam em: (a) na perfuração do interior de um recipiente construído de madeira que foi preenchido totalmente por água, na temperatura de 15,6°C, de forma a permitir a medição da temperatura da água caso ocorresse geração de calor por meio da broca. (b) Em outro experimento Rumford, lacrou a parte que foi perfurada em uma caixa protegida da entrada de ar ambiente. (c) Dessa vez Rumford emergiu especificamente a parte que sofria a perfuração em uma caixa contida completamente por água. Outros trabalhos experimentais também foram elaborados e replicados várias vezes para investigar a natureza do calor (GOMES, 2013).

Consideramos importante a interpretação das evidências experimentais desse cientista, não cabendo uma reflexão pormenorizada dos passos metodológicos para tais, experimentos pois a literatura com os trabalhos de Medeiros (2009); Gomes (2013); Silva, Forato e Gomes (2013), dentre outros apresentam essa discussão, sendo que o primeiro e o terceiro trabalhos já foram analisados na revisão de literatura. Com isso nos interessamos nas inferências do conde Rumford, para isso optamos por transcrever a citação da obra com as traduções dos comentadores

Vimos que uma quantidade considerável de calor pode ser provocada na fricção de duas superfícies metálicas, e fora dado em uma corrente constante ou fluxo, em todas as direções, sem interrupção ou intervalo, e sem quaisquer sinais de diminuição ou exaustão. De onde veio o calor que estava continuamente fornecido dessa maneira, nas experiências anteriores? É devido às pequenas partículas de metal, desligadas das massas sólidas maiores, ao serem friccionadas juntas? Isso,

como já vimos, não poderia ter sido o caso. Foi fornecido pelo ar? Isto não teria sido o caso, pois, em três dos experimentos, a máquina ao ser imersa em água, o acesso do ar da atmosfera foi completamente impedido. Foi fornecido pela água que permeava a máquina? Que este não pode ter sido o caso é evidente: em primeiro lugar, porque esta água foi continuamente recebendo calor do equipamento, e não podia, ao mesmo tempo, fornecer e receber calor a partir do mesmo corpo, e em segundo lugar, porque não houve decomposição química de qualquer parte desta água. Tivesse ocorrido qualquer decomposição, (que na verdade não poderia ter sido razoavelmente esperada) um dos seus componentes fluidos elásticos (provavelmente ar inflamável) deveria, ao mesmo tempo, ter sido liberado, e ao fazer a sua fuga para a atmosfera, teria sido detectado, mas embora eu frequentemente examinasse a água para ver se as bolhas de ar levantavam-se através dela, e tivesse até feito os preparativos para capturá-las, a fim de examiná-las, se fosse o caso de aparecerem, eu não pude perceber nenhuma, nem havia qualquer sinal de decomposição de nenhuma espécie, ou outro processo químico, acontecendo na água. É possível que o calor possa ter sido fornecido pela barra de ferro até o fim do qual a broca cortante de aço foi fixada? Ou pelo gargalo pequeno da arma de metal pela qual o cilindro oco foi unido ao canhão? Estas suposições parecem mais improváveis ainda que qualquer das acima citadas para o calor fluir continuamente, ou para fora das máquinas, por estas duas passagens, durante o tempo todo que a experiência durou. Refletindo sobre isso, não devemos esquecer de considerar aquele relevante fato, que o calor gerado por atrito, nestes experimentos, pareceu evidentemente ser inesgotável. Não é necessário adicionar que qualquer coisa que um corpo isolado, ou sistema de corpos, pode fornecer continuamente sem limitação, não pode de maneira alguma ser uma substância material: e parece-me ser extremamente difícil, senão impossível, formar qualquer conjectura diferente de qualquer coisa que seja capaz de ser excitada e comunicada, da maneira pela qual o calor foi excitado e comunicado nestes experimentos, a não ser que ela seja MOVIMENTO (THOMPSON, 1798, p. 98-99, apud SILVA, FORATO e GOMES, 2013, p. 526-527).

Com isso Rumford retoma a discussão do calor advindo do movimento que foram apresentados por Francis Bacon e Robert Boyle, empregando na interpretação dos resultados dos experimentos levando a concluir que o calor gerado provinha de ação mecânica (GOMES, FORATO e SILVA, 2011). Apesar disso, os resultados de Rumford foram inconclusivos contra a teoria do calórico, uma vez que as conclusões elaboradas por Rumford foram refutadas pelos defensores do calórico mesmo com a replicação de todos os experimentos. A aceitação do calor sendo originado do movimento não ganhou respaldo na comunidade científica e as vantagens que Rumford procurava obter não foram atingidos um dos motivos de insucesso em refutar a teoria do calórico pode estar relacionado a ausência de descritores matemáticos que embasassem os resultados experimentais.

Acerca da discussão da aceitação da teoria do calórico encontramos o seguinte posicionamento

Na década de 1800-1810, a teoria do calórico foi provavelmente mais amplamente aceita do que em qualquer outro momento de sua história. O questionamento da materialidade do calor, que tinha sido realizado na virada do século, não só por Rumford, mas também[...] por Humphry Davy e Thomas Young, teve muito pouco efeito, e a visão de que '[calor] é quase universalmente considerado o efeito de um fluido' foi a que a maioria dos homens de ciência considerou aceitável em 1800, em

1810, ou mesmo em 1815, tanto quanto tinha sido em 1797, quando apareceu na terceira edição da Encyclopaedia Britannica, pouco antes de Rummford, Davy, e Young apresentarem suas críticas [...] ( FOX, 1971, p.104, apud, CARVALHO e GOMES, 2017, p. 283).

Podemos analisar também essas discussões a partir da ótica epistemológica fundamentada nos moldes da teoria de Kuhn, sendo que esse período demonstra claramente a ciência normal <sup>6</sup>no qual Gandra e Silva (2018) discorreram que os adeptos do paradigma<sup>7</sup> vigente (teoria do calórico) investem contra os resultados anômalos no sentido de encapsularem, dentro das estruturas paradigmáticas da teoria, os resultados conflitantes.

Sendo assim, a proposta de Rumford de utilizar a teoria dinâmica do calor demonstrou-se infrutífera na refutação da teoria do calórico. E no cenário militar todos os condados da atual Alemanha foram invadidos pelo império francês sob o comando de Napoleão Bonaparte que almejava consolidar a França como a maior potência do mundo. Esse desejo do imperador francês passava também pelas ciências que receberam vultosos investimentos e contaram com a criação das seguintes instituições a Escola Normal Superior, que contava com a maior Escola de Medicina da Europa, além da Escola Politécnica para a formação de novos cientistas. Somando-se a isso os professores passaram a ter uma remuneração elevada e uma carreira reconhecido como professor-pesquisador (BERNAL, 1951).

Esses investimentos contribuíram com a formação de pesquisadores que contribuíram em diversas áreas como Gay Lussac, Augustin-Jean Fresnel, Etienne-Louis Malus, dentre outros. Essa institucionalização científica da França serviria de modelo de educação científica para a Inglaterra e a Alemanha, formularem as suas instituições científicas (BERNAL, 1951).

Logo os desejos expansionistas da França entraram em choque com o império inglês detentor de uma marinha numerosa e mecanizada com os princípios do motor a vapor que garantia vantagens militares em relação as potências rivais, pois esses navios eram maiores, tinham melhor estabilidade, autonomia, eram mais seguros e podiam transportar mais projeteis do que os navios a vela (MANTUANO, 2017). Essas vantagens foram exploradas ao máximo pelo governo inglês para a exploração colonial e o aumento das reservas de

---

<sup>6</sup>A ciência normal trata-se de uma tentativa de moldar as evidências experimentais dentro de limites preestabelecidos e inflexíveis que são estruturados de acordo com o paradigma aceito pela comunidade de cientistas (KUHN, 1962).

<sup>7</sup> Paradigmas representam os avanços científicos que são aceitos universalmente que comprovem premissas *a priori*, visando apresentar soluções para problemas que uma comunidade de pesquisadores se deparam (KUNH,1962).

metais preciosos, chegando mesmo o governo autorizar a ação de corsários para realizar a pilhagem em navios inimigos para aumentar o monopólio dos mares pela marinha inglesa. Essas ações garantiram vastos mercados coloniais explorados com uma força militar espalhada pelo globo com o objetivo de obter vantagens econômicas para o império.

Porém o pioneirismo inglês começava a ter concorrência das demais potências europeias que inicialmente estavam interessados em modernizar as frotas mercantis ocasionando uma disputa por colônias entre a Inglaterra e a França que culminou com a expansão do império inglês (HOBSBAWM, 2000). Derrotados em disputas coloniais no cenário continental a França almejava sobrepujar a Inglaterra com o seu numeroso exército. Para isso o governo aproximou ainda mais a academia da esfera militar, um exemplo disso é a escola politécnica criada com o intuito de formar engenheiros e militares para garantir a expansão da França. Um dos engenheiros formados nessa escola foi Lazare Carnot Marguerite que teve atuação de destaque durante a Revolução Francesa, sendo o responsável pela reorganização do exército francês após a revolução, chegando ao cargo de ministro da guerra durante o governo de Napoleão Bonaparte (PASCOAL, 2016).

Com o fim da Revolução Francesa e o início do governo de Bonaparte, Carnot começava a se interessar pelas máquinas de fogo e passou a conduzir investigações acerca da natureza do calor, e concluiu dos seus estudos que a teoria dinâmica do calor era o responsável pelos fenômenos observados durante o disparo de projeteis (PASCOAL, 2016). Apesar de advogar em favor da teoria dinâmica do calor, as suas ideias não tiveram aceitação nem entre os pares da academia francesa e os conflitos com as potências vizinhas tornaram-se frequentes, com o império inglês liderando o grupo de aliados contra o império francês.

Para vencer o império inglês, Napoleão acreditava que deveria cercar, isolar e privar a Inglaterra de matérias-primas e dos demais recursos explorados nas colônias ultramarinas, mas para isso a marinha de guerra francesa deveria ser tecnologicamente mais avançada do que a inglesa para atingir tal missão. E nesse ínterim as guerras vinham consumindo todas as matérias-primas francesas privando a população de bens de consumo básicos, com isso o governo incentivou o desenvolvimento da indústria química que se tornou de alto nível e mostrou-se capaz de sintetizar materiais para o emprego em outros setores da economia. E mesmo em tempos de guerra e com recursos financeiros limitados o governo ainda instituiu um prêmio para as maiores descobertas acerca da eletroquímica que poderiam ser atribuídos a qualquer cientista independente da nacionalidade (BERNAL, 1951).

Entretanto os esforços franceses não foram suficientes para sobrepujar o poderio da marinha inglesa que em gigantescas esquadras navais derrotou toda a armada francesa. E no campo terrestre a aliança dos países europeus contra a França cercava Paris capital do império francês. Em um movimento desesperados os estudantes da escola politécnica incumbidos de um forte sentimento de nacionalismo lutaram contra a invasão estrangeira e dentre esses, temos Léonard Sadi Carnot, filho do importante militar Carnot, pai que servia diretamente com Bonaparte no fronte. Porém já era tarde para o corpo de estudantes de engenharia da politécnica mudar o cenário, que convergiu na derrota da França e do exílio forçado de Bonaparte (VICENTINO e DORIGO, 2013).

Após as guerras napoleônicas e sob influência militar de seu pai, Carnot foi transferido para o interior com poucos trabalhos militares. Em 1820 Carnot (filho), recebe aposentadoria do exército, solicitado ao estado maior francês que ainda respeitava a tradição militar da família. Esse pedido ocorreu porque Carnot visava aperfeiçoar suas ideias acerca das máquinas de fogo que na concepção deste, foram primordiais para a vitória inglesa durante a guerra, pois 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. Para Carnot o ponto que a Inglaterra deveria ser atacada era especificamente nas máquinas térmicas e a busca pelo seu aperfeiçoamento (PASCOAL, 2016).

Ciente disso Carnot disserta em sua obra:

Para tirar da Inglaterra os motores a vapor seriam tirar, ao mesmo tempo seu carvão e ferro. Seriam a secar todas as suas fontes de riqueza, para arruinar tudo em que ela prosperidade depende, em suma, “para aniquilar esse seu poder colossal”. A destruição de sua marinha, que considera a sua defesa mais seria talvez menos fatal (CARNOT, 1824, p.4, apud, PASCOAL, 2016, p. 61).

Portanto era impreterível o domínio das técnicas da máquina térmica, visando objetivos militares, assim como, os avanços nos estudos das máquinas poderiam ser empregados em setores econômicos da sociedade, sendo importante essas investigações para a sobrevivência da França pós-napoleônica, deste modo, o alvo inicial das investigações de Carnot foi no campo teórico que segundo Palavra e Castro (1988):

Carnot utilizou a analogia entre a máquina a vapor e o moinho de água. Assim, tal como a queda de água de um nível superior para um inferior faz mover a roda do moinho (trabalho), também a máquina a vapor realiza trabalho quando o calor passa da fonte quente (caldeira) para a fonte fria (condensador). No seu estudo Carnot admitiu como correta a teoria do calórico, o que implicava que no processo que ocorre na máquina a vapor haja conservação de calor. Simplesmente, como se provaria mais tarde, tal premissa não era verdadeira. Com efeito, o calor, ao contrário da quantidade de água que passa no moinho, não se conserva,

transformando-se parcialmente em trabalho. Para além de admitir a impossibilidade do movimento perpétuo. Com base em ambos os postulados ele deduziu o chamado teorema de Carnot no qual máquinas térmicas reversíveis apresentam a mesma eficiência, desde que sejam iguais as temperaturas das fontes quente e fria, a qual é máxima nessa situação (reversibilidade) (PALAVRA e CASTRO, 1988, p. 14-15).

De acordo com Borges (2016) o culminar das pesquisas de Carnot convergiu na obra *Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo* publicada em 1824 que analisou as máquinas térmicas e indicaram a vantagem da utilização do retorno para a temperatura mais baixa ocorreria então de forma espontânea, devido à resistência que tem que ser superada é inferior a tensão que é gerada do poder motriz com o aumento da temperatura. A obra de Carnot é embasada em reflexões corretas, sem um arcabouço matemático avançado. Ao analisar a máquina de fogo 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, no qual 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 para um corpo quente para o frio (PASCOAL, 2016). Consideramos importante os apontamos que o próprio Carnot demonstrou nessa análise, com isso transcrevemos a seguir o seu relato:

Aquece-se pela intervenção do vapor, como se tivesse sido colocado diretamente por cima da fornalha. O vapor é aqui apenas um meio de transporte do calórico. Ele preenche a mesma função como no aquecimento de banhos a vapor exceto que neste caso, o seu movimento é o rendimento útil. Notemos que esta circunstância é o restabelecimento do equilíbrio no calórico, isto é, a sua passagem a partir de um corpo no qual a temperatura é mais ou menos elevada, para outra em que é inferior. Menos parcialmente, por um lado o ar aquecido, depois de ter realizado a sua função, tendo passado rodada da caldeira, sai pela chaminé com uma temperatura muito inferior à que tinha adquirido como o efeito da combustão; e na máquina por outro lado, a água do condensador, depois de ter liquefeito o vapor, deixa a máquina com uma temperatura mais elevada do que com o qual ele entrou (CARNOT, 1828, p.4, apud, PASCOAL, 2016, p. 66).

Para Pádua, Pádua e Silva (2009) as contribuições de Carnot foram primordiais para o avanço da teoria do calor ao englobar aspectos de conceitos de reservatórios de calor do tipo reservatório térmico, reversibilidade e a existência de um diferencial de temperatura que exerceria trabalho em um processo de interação com o calor. Carnot apesar de utilizar o calórico na explicação dos processos térmicos, ainda era ciente das limitações da teoria expostas na literatura 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, esse cenário de descaso com as condições higiênico-sanitários era comum em praticamente todas as grandes cidades europeias (CASTIGNANI, 1999).

Apesar disso, o trabalho de Carnot não teve ampla aceitabilidade pela comunidade científica ainda ancoradas na teoria do calórico, sendo relegado a pesquisa um pequeno impacto nos pares das academias ao longo da Europa. Um dos motivos seria que o seu trabalho dirigia prioritariamente a engenheiros e técnicos, inclusive quando apresentado na academia de ciências da França o trabalho não teve repercussões elevadas, porém a solidez das ideias recebera poucas tentativas de refutação. Nesse período as teorias para serem aceitas tinham que ter respaldos empíricos e formalismo matemático para receberem a devida atenção (PASCOAL, 2016).

As sementes de uma nova interpretação mais abrangente para o calor começavam a ser desvelada e ganhou força com Benoit Paul Émile Clapeyron que matematizou as ideias de Carnot e aplicou no estudo dos gases, publicando importantes trabalhos que chamaram a atenção das academias científicas pelas Europa. Outro divulgador das ideias de Carnot foi seu irmão Lazare Hippolyte Carnot, que utilizava do seu cargo político como ministro para participar das sessões da academia francesa de ciências na qual realizava a leitura do manuscrito do seu irmão (PASCOAL, 2016).

Enquanto as discussões nas academias de ciências acerca do calor aumentavam a sociedade eram impactadas com a mecanização total dos meios de produção direcionados para o acúmulo de capital, e as máquinas desempenham papel central na sociedade. Para Marx (2011) este equipamento não é o culpado pela miséria da classe trabalhadora, mas sim os grandes industriais que exploram os meios de produção de forma a oprimir o proletariado. Esse autor ainda apontou a favor da conquista humana sobre a máquina no que tange a facilitação do trabalho, sendo uma vitória sobre a natureza, aumentando o capital para os proprietários que realmente produzem. Contudo a sua aplicação nefasta com o capitalismo, aumentou a jornada de trabalho, bem como, escravizou o homem ao subverter as forças naturais para tal fim e minimizou os ganhos dos verdadeiros produtores.

Nesse viés a revolta dos trabalhadores contra a exploração aumentou e segundo Nahoum (2008) os principais movimentos trabalhistas foram denominados de Cartismo e Ludismo que representavam a revolta dos trabalhadores em relação a utilização das máquinas

que vinham substituindo amplamente a mão de obra, contribuindo para o aumento do desemprego em larga escala. Somando-se a isso eram exigidas melhores condições de trabalho tais como a diminuição da jornada de trabalho, de indenizações nos acidentes de trabalho e a luta contra os abusos sexuais sofridos pelas mulheres nas fábricas. Apesar das organizações dos trabalhadores e dos avanços de teóricos no campo social as manifestações e greves nas fábricas eram duramente combatidas pelos Estado, e ainda seriam necessárias muitas décadas de exploração da mão de obra para que as leis de trabalho ajustassem as condições mínimas para a sobrevivência da população pobre (VICENTINO e DORIGO, 2013).

A sociedade inglesa era marcada pela concentração de riquezas nas mãos de poucos, esse fato também ocorria em outros países mais era predominante na Inglaterra e os centros urbanos eram o reflexo disso com atividade industrial intensa, bairros luxuosos que eram opostos dos bairros das camadas mais pobres. Uma das cidades que passou pela industrialização era Manchester que contou com a indústria têxtil, para alavancar a sua economia e com rios volumosos para escoar a produção para os portos da Inglaterra.

A urbanização nessa cidade, assim como, nas demais levou a sérios problemas de saúde devido ao lançamento de esgoto a céu aberto a ausência de água encanada, que contribuiu para disseminar doenças relacionadas ao consumo de água, tais como a diarreia. Epidemias de cólera e de tifo eram comuns, e mesmo com a instalação do sistema de purificação de águas no rio Tamisa, essas doenças continuavam a assolar a população, sendo determinante a falta de higiene como o propagador dessas doenças. A situação começa a melhorar apenas em 1848 com a promulgação da Lei de Saúde Pública que estabeleceu códigos de salubridade e criou centros de saúde espalhados pela Inglaterra (CALADO, 2011).

Na figura 10 é apresentada uma ilustração da cidade de Manchester com o destaque para as várias chaminés que se tornaram presente na paisagem.

**Figura 10:** A cidade de Manchester.



Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/557250153865647942/?lp=true>. Acesso em 19/06/2018.

Nessa cidade assim como, nas demais grandes cidades inglesas ocorreu o aumento de moradias irregulares devido à expansão da população, e o cenário econômico era gigantesco com fundições de metais, fábricas de máquinas a vapor, constituíram um ambiente propício para investimentos financeiros que bem empregados levariam a fortunas (QUEIRÓS, 2012).

No campo científico em 1781, foi fundada a Sociedade Filosófica e Literária de Manchester que daria origem a Manchester Academy, no qual John Dalton, viria a se tornar professor de matemática, química e filosofia natural e também contribuiria na educação de Joule (CALADO, 2011). Apesar de toda a atividade científica da cidade foi certamente o fator econômico que motivou a ida da família de Joule para Manchester, sendo possível graças a venda das propriedades rurais em Derbyshire, próximo a Manchester que a família aplicou os lucros para o investimento em uma cervejaria na região de Salford nos arredores de Manchester. E devido ao alto consumo de bebidas alcoólicas que era mais limpa do que a água utilizada para consumo humano que era advinda de poços, fontes, contaminadas por dejetos humanos e industriais, que também era lançado nas vias públicas. Com isso o consumo em excesso bebidas contribuiu para o aumento da fortuna da família de Joule, a expansão do comércio da família também ocorreu por meio da mecanização e o emprego de máquinas térmicas, permitindo assim, a redução dos custos de produção a maximização dos lucros (SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014; CALADO, 2011).

Caminhando em uma mão única o crescimento econômico aliado com os conhecimentos científicos permitiu o florescimento de ideias profundas acerca da natureza do calor. Sendo que o interesse pela utilização das máquinas térmicas impacta também os transportes terrestres especialmente a ferrovia, que recebia investimentos da burguesia, que dispunha o seu capital nessa atividade devido aos seguintes fatores: a) O excesso de capital acumulado com a exploração do proletariado, b) Possibilidade de escoar a produção de forma rápida e barata para os portos, bem como, facilitou o transporte de matérias primas das colônias para os centros industriais (CARDWELL, 1989).

Essa disseminação das estradas de ferro por toda a Inglaterra permitiu a construção de linhas ferroviárias que interligou Manchester a Liverpool, sendo motivo de admiração pelo jovem Joule, dessa observação dos trens, Joule vislumbrou o poder que as máquinas já exerciam na sociedade (CARDWELL, 1989). Dessa forma a expansão da rede ferroviária

possibilitou o aumento do lucro para a burguesia que passou a controlar os meios de transporte de mercadorias seja no cenário interno com as ferrovias e no cenário externo com os navios a vapor. A utilização do transporte marítimo a vapor reduziu o tempo de viagens, permitindo diminuir os custos com o transporte maximizando o lucro com o comércio de produtos têxteis, bem como, das especiarias ainda explorados do seu vasto império (BERNAL, 1951).

Impulsionados pelos avanços industriais advindos das máquinas térmicas, as pesquisas centravam-se em analisar o funcionamento dessas máquinas a partir da teoria do calórico. Porém os avanços não estavam acontecendo e cada vez mais anomalias dentro do período de ciência normal estava ocorrendo, e o acúmulo de resultados divergentes colocavam em risco a validade da teoria do calórico.

Nesse período mais de uma dúzia de cientistas dedicaram ao estudo acerca do calor conduzindo experimentos diversos, que contribuíram para a determinação do conceito de equivalente mecânico para o calor. Porém optamos por não abrir todas as caixas pretas devido ao tempo didático e analisarmos dois cenários distintos com Joule e Mayer, porém estamos cientes que outros pesquisadores contribuíram para a elucidação do equivalente mecânico do calor.

É o ambiente técnico que propiciou o surgimento das ideias de James Prescoule Joule, ele 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).

Por outro lado, Julius Robert Mayer começou a investigar de uma maneira não convencional o calor. O interesse de Mayer por pesquisas nessa área ocorreu devido a uma viagem do mesmo para a ilha de Java como médico de um navio que visava obter matérias primas para a industrialização germânica. Com isso Mayer realiza uma série de observações do sangue retirado de europeus observando que possuía uma coloração vermelho intenso, porém naquela região do planeta o sangue venoso retirado possui uma coloração que era semelhante ao arterial (MARTINS, 1984).

De um ponto de vista químico esse fenômeno transcorria da seguinte forma

Não sabia- nem-podia saber- que o agente transportador de oxigênio é a hemoglobina, uma molécula complexa cujo centro ativo é um átomo de ferro, passível de ser oxidado (ligar-se ao oxigênio) ao nível dos pulmões. A passagem da deoxihemoglobina a oxihemoglobina corresponde a uma mudança de cor, e é por isso que o sangue arterial, que sai dos pulmões pela veia pulmonar e corre nas artérias, é vermelho-vivo e rico em oxigênio, enquanto o sangue desoxigenado ou venoso, que circula nas veias e regressa aos pulmões pela artéria pulmonar, é de cor púrpura (CALADO, 2011, p. 321).

Deste modo, em um ambiente com a temperatura mais elevada, o corpo necessitava de menos energia e consumiria menos oxigênio, para equilibrar a temperatura em 37°C. Martins (1984), ressaltou que a pesquisa desenvolvida por Mayer centrou-se em investigar a natureza fisiológica a partir de teorias do calor, ao apontar que o trabalho estava interligado ao esforço realizado, ao qual a equivalência entre o esforço e o calor gerado era constante, de forma a ser condizente com as relações físicas e filosóficas. Ao retornar para a Europa Mayer tenta publicar seus resultados, porém esbarra na falta de conhecimentos em aspectos básicos da Física, tendo com isso a recusa de publicação de seu artigo.

Apenas em 1842 é publicado o trabalho de Mayer após a melhoria do artigo, obtido com estudos de Física sob a tutela de um professor que era amigo da família, sendo que Mayer obteve claramente a relação entre a interconvertibilidade do trabalho mecânico e do calor, sendo obtido um valor numérico para expressar essa equivalência, Mayer ainda generalizou que a conversão seria válida em qualquer processo natural, bem como, em máquinas térmicas (BOMFIM, REIS e GUERRA, 2016).

Pádua, Pádua e Silva (2009), contribuiu com essa discussão ao apontar que o trabalho de Mayer investigou

Quando um sistema material apenas troca trabalho mecânico e calor com o exterior, e volta em seguida ao seu estado inicial ocorre que: se o sistema recebeu trabalho, cedeu calor e se o sistema recebeu calor, forneceu trabalho; há uma razão constante entre o trabalho (W) e a quantidade de calor (Q) trocado:  $\frac{W}{Q} = \text{constante} = J$ , em que J

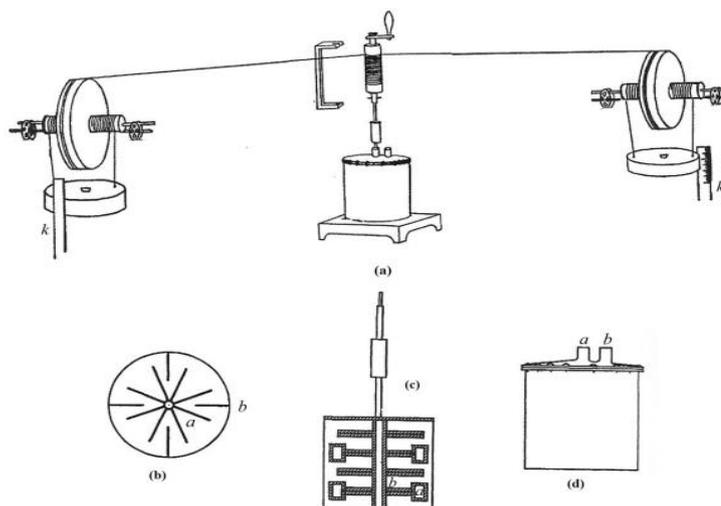
é designado equivalente mecânico do calor. (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009, p. 94).

Em um outro contexto Joule determinou o equivalente mecânico para o calor assim como Mayer. Porém Joule estava interessado em investigar as relações entre as forças elétricas, magnéticas que ainda não tinha sido unificada e os princípios mecânicos. Essa análise inicial de Joule estava pautada em princípios técnicos, no que tange o calor produzido na passagem de corrente elétrica, com isso Joule inferiu que esse comportamento era oriundo do efeito mecânico. O interesse pelos estudos relacionados com a eletricidade estava condizente com as pesquisas que vinham sendo realizados na Europa.

A posição social foi importante para os trabalhos de Joule, pois permitiu receber investimentos provenientes de industriais para aperfeiçoar seus equipamentos ao aumentar a precisão e a exatidão na determinação do equivalente mecânico para o calor. Nesse sentido as pesquisas eram financiadas com o intuito de gerar lucros, pois havia o interesse em aumentar a fortuna e promover o avanço científico. Sendo assim, Joule estipulou a relação entre a produção de calor a partir de uma corrente do tipo voltaica a partir de medidas precisas da temperatura da água em contato com uma porção em formato de espiral em um circuito, a partir de termômetros com elevado sensibilidade, determinando assim a intensidade da corrente da resistência (SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014).

Apesar disso o trabalho de Joule não foi conclusivo para determinar a existência ou não do calórico. Sendo assim, para estudar de forma mais aprofundada o calor, Joule desenvolveu o aparato experimental figura 11. No qual 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.

**Figura 2:** Representação do aparato experimental desenvolvido por Joule.

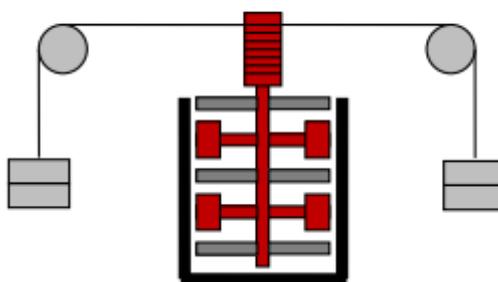


Fonte: SOUZA, SILVA e ARAUJO, 2014, p. 3309-4.

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 figura 12, 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 suspensas 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 (DÍAS, 2014).

**Figura 32:** Representação de uma cuba.



Fonte: DÍAZ, 2014, p. 44.

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 o calor específico do cobre e do latão da roda de pás. 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.

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 conseguir 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).

Os resultados obtidos por Joule foram apresentados na real sociedade de ciência inglesa e sua aceitação teve respaldo na defesa realizado por Willian Thomson que mais tarde seria referido como Lord Kelvin, um dos mais eminentes cientistas da época, que atuou inicialmente na Universidade de Glasgow na Escócia ficando interessado nos resultados obtidos por Joule e também virou colaborador de Joule no campo científico (CALADO, 2011). Somando-se o apoio de Thomson e o aperfeiçoamento da quantificação da temperatura, as ideias de Joule foram gradativamente aceitas conforme este realizava as publicações em periódicos científicos e as comunicações acerca do equivalente mecânico do calor (QUEIRÓS, 2012).

Enquanto as discussões acerca da natureza do calor afluíam nos centros científicos pela Europa, a insatisfação dos trabalhadores com a situação social culmina com uma série de Revoluções em 1848. Entretanto a Inglaterra não é afetada por essas revoluções devido ao regime monárquico parlamentarista fortemente pautado na riqueza obtida com os investimentos industriais, uma vez que a maioria dos parlamentares eram oriundos da burguesia. Hobsbawm (2000) ainda afirmou que a situação social de mazelas era notável na Inglaterra e poderia ter contribuído para a eclosão da revolução, entretanto o controle do governo era intenso e sufocava as intencões populares. Buscando acalmar os ânimos o governo realizou um levantamento social no qual cerca de 40% da população da classe trabalhadora se encontrava em situação de miséria extrema e não há maioria como defendia os radicais, porém essas pesquisas eram passíveis de manipulações dos dados para ocultar a real situação da classe trabalhadora.

Diferentemente da Inglaterra a região da Germânia era dividida em principados passa por intensas agitações políticas que culminariam mais tarde em um movimento de unificação (1870) em torno de um estado-nação que corresponderia a atual Alemanha. Nesse panorama os conflitos militares se aceleram e os centros científicos também passam a ser colégios militares para a formação 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 nesse centro acadêmico.

Nesse ínterim 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, permitindo inferir que as observações obtidas com o calor, a eletricidade e as reações químicas poderiam ser associadas ao conceito de trabalho (PÁDUA, et al, 2008). Essas reflexões podiam ser utilizadas tanto para máquinas, como na 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 (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009).

Para Nussenzveig (2010), as análises de Helmholtz no estudo do calor foram profundas e levaram este cientista a inferir que a natureza apresenta uma reserva de energia que não é aumentado e nem reduzido, levando à conclusão de que a energia na natureza não sofre alteração, bem como, a quantidade de matéria. Permitindo ainda provar que trabalho não é originado do nada, com isso o Princípio da Conservação de Energia ganha um respaldo científico maior, entretanto ressaltamos que não foi apenas Helmholtz que contribui com essa formulação que contou com a construção coletiva de vários cientistas.

A respeito disso, Kuhn (2011) dissertou que doze cientistas contribuíram para a formulação do princípio da conservação de energia, sendo eles Julius Robert von Mayer, James Joule, Ludwig A. Colding, Hermann von Helmholtz, Sardi Carnot, Marc Séguin, Karl Holtzmann, Hirn, Christian Otto Mohr, Wiliiam Grove, Michael Faraday e Justus von Liebig. Segundo Kuhn (2011) existiu três fatores que incentivaram a construção coletiva desse princípio que são: Disponibilidade de processos de conversão, os estudos para o aperfeiçoamento dos motores e a filosofia da natureza.

Em suma, o primeiro fator estava relacionado a pesquisas com a eletricidade e a conversão entre os fenômenos físicos que passam a ser estudados não apenas como fatores extraordinários, mas sim como um conjunto interconectado de fenômenos. Já a segunda característica era inerente ao processo de industrialização pelo qual a Europa passou, em distintos estágios levando a estudos inicialmente técnicos para aperfeiçoar a máquina vapor, porém a necessidade de alavancar as economias nacionais e proteger tanto o império colonial como as fronteiras nacionais levou as investigações mais sofisticadas e com formulações matemáticas para comprovar as observações empíricas.

O último fator era mais filosófico e buscava o princípio unificador para os fenômenos da natureza influenciando os cientistas a buscarem compreender os fenômenos magnéticos, químicos e elétricas em uma única visão, contribuindo para o avanço no entendimento do princípio de conservação de energia. Essa visão foi decisiva em diversos momentos históricos contribuindo para a unificação da eletricidade com o magnetismo e influenciou as pesquisas em Física Moderna e Contemporânea. Dessa forma os pilares a 1ª Lei da Termodinâmica emergiram e atingiu o status científico com ampla aplicação nas observações da natureza em pouco tempo o arcabouço teórico do calor expandia-se.

Diante da situação instável da Prússia que englobava regiões da atual Alemanha e da Polônia com conflitos militares era comum empregar cientistas em escolas de engenharia e de artilharia, que eram as mais prestigiadas do país vinculados ao ministério da defesa, visando o aperfeiçoamento das armas e um desses cientistas foi Rudolf Julius Emmanuel Clausius que obteve esse status ao estudar os fenômenos envolvidos com o calor, partindo inicialmente da análise de uma extensa literatura já produzida acerca da natureza do calor. Obteve 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 (BASSALO e FARIAS, 2015).

William Thomson contribuiu com essa discussão ao desenvolver os aportes matemáticos para os conceitos de irreversibilidade e dissipação do calor. Do intenso debate entre os pares emerge ideias que contribuíram para a formulação do 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 de um corpo frio para um quente. Portanto munidos de tais avanços conceituais Clausius, compreendeu a distinção nos processos reversíveis e os irreversíveis (BASSALO e FARIAS, 2015).

Clausius ainda propôs a substituição do valor de equivalência que assumia uma quantificação positivo, pela entropia que passaria então a balizar as seguintes premissas.

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 (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009, p. 103).

Com isso as bases da Termodinâmica estavam consolidadas e foram expandidas no decorrer do século XIX com as vertentes estatística e cosmológica para a Termodinâmica.

Apesar de já formulada as duas leis da Termodinâmica, a lei do equilíbrio térmico emerge de observações empíricas macroscópicas de forma a englobar o conceito de temperatura, no qual “Dois sistemas termodinâmicos, quando em equilíbrio térmico com um terceiro sistema, estão em equilíbrio térmico entre si ” (PÁDUA, PÁDUA e SILVA, 2009, p. 91).

Na visão dos autores a lei zero da termodinâmica representou o princípio físico para o equilíbrio térmico e apresentou uma forma empírica para conceituar a temperatura e de apresentar formas de medi-la. Como a temperatura é a grandeza inicial da Termodinâmica esta lei precede as duas primeiras.

Nesse ínterim a Revolução Industrial se consolida e as consequências ainda ecoam atualmente tais como o modo de organização fabril, o capitalismo predatório com a busca suprema pelo lucro que gera desigualdades sociais. Já o meio ambiente sofre com a poluição que foi potencializada com a implementação de novas máquinas na sociedade, de modo que a concentração de gases do efeito estufa, tais como dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) apresentaram crescimento exponencial, principalmente o  $\text{CO}_2$  que em meandros da Revolução Industrial encontrava-se abaixo de 280 ppm, saltaram em menos de 150 anos para 360 ppm no ano de 2000 (LEAL, FARIAS e ARAUJO, 2008).

Enfim a apresentação do contexto social do desenvolvimento da Termodinâmica elucidou o plano de fundo que influenciou os cientistas nas formulações das leis da Termodinâmica e constitui-se uma possibilidade de abordagem pedagógica interdisciplinar com uma visão internalista e externalista de História da Ciência. Essa abordagem possibilitou delinear a estrutura da sequência didática em consonância com os referencias teóricos.

## 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 Tecnê, 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 Pontífica 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 História 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. SELBITTO, 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: Fluídos, 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/victorazevedovictorfariashiltonclp.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 diretos 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.