

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

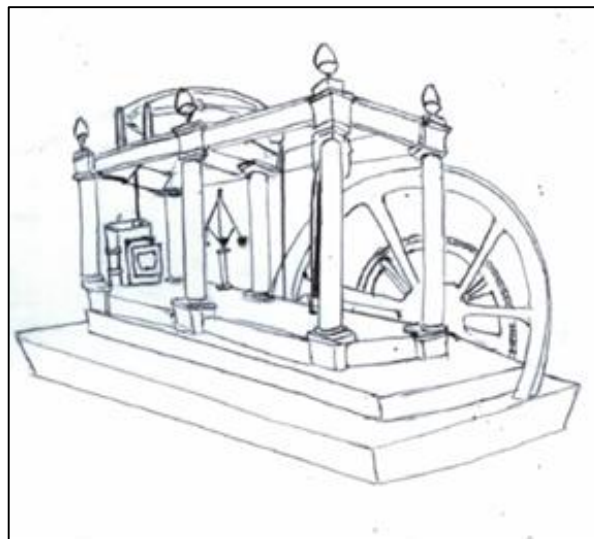
**A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL
E O DESENVOLVIMENTO DA
TERMODINÂMICA**

CLEIDSON VENTURINE

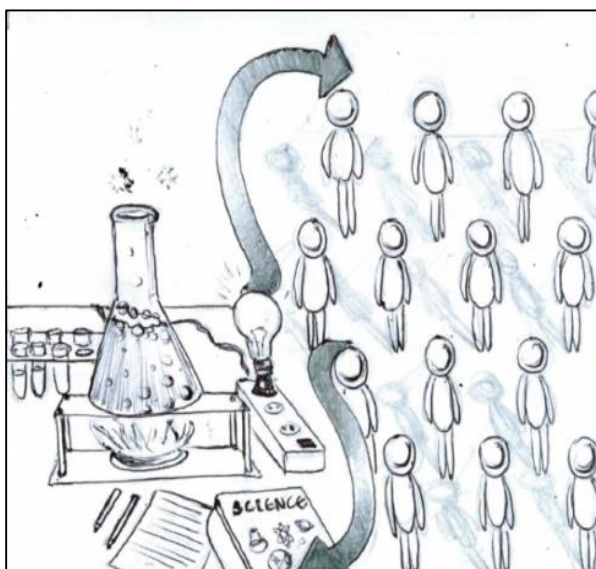
2014

1. Introdução

A primeira revolução industrial, ocorrida, principalmente, na Inglaterra nos séculos XVIII e XIX constitui, talvez, a maior transformação da história humana desde os tempos remotos, quando o homem inventou a agricultura e a metalurgia, a escrita, a cidade e o Estado. Esta revolução transformou, e continua a transformar, o mundo inteiro. É claro que vários fatores contribuíram para que ela acontecesse, mas um dos principais fatores foi o desenvolvimento da Termodinâmica e, principalmente, da máquina térmica.



A máquina a vapor

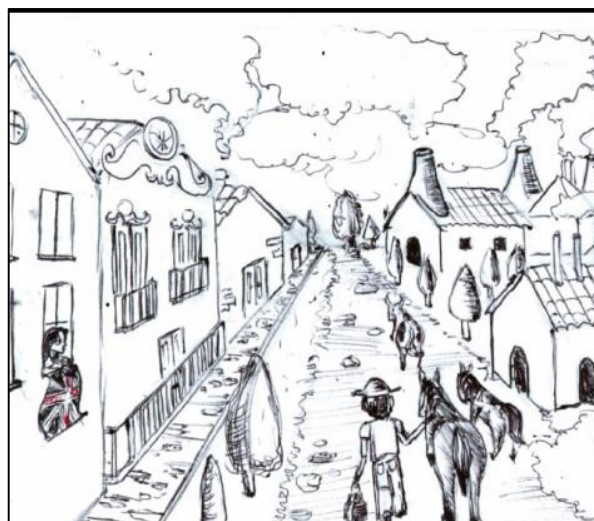


Ciência e sociedade

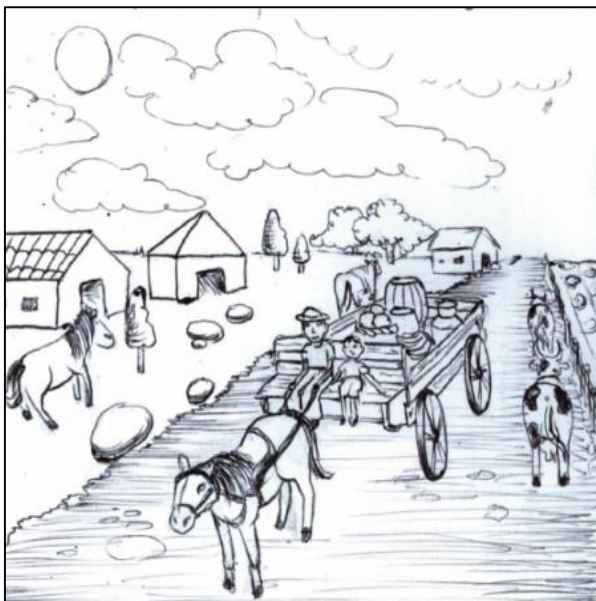
Contextualizar histórica, social e economicamente o período que compreende o desenvolvimento das Leis da Termodinâmica pode contribuir significativamente para que possamos entender as relações entre a Ciência e a Sociedade e como elas se influenciam. Além disso, entender essas relações e conhecer como se deu a construção do conhecimento que levou ao desenvolvimento dos conceitos e das Leis relacionadas à Termodinâmica pode contribuir para a motivação do aluno em estudar Física e, assim, contribuir para o processo de ensino/aprendizagem envolvendo o mesmo.

2. O Velho Mundo no século XVII (antes da Revolução Industrial)

Nesta época o mundo era, ao mesmo tempo, muito maior e menor do que o nosso. Era muito menor, pois até mesmo os mais aventureiros dos homens conheciam apenas uma pequena fração do mundo habitado.



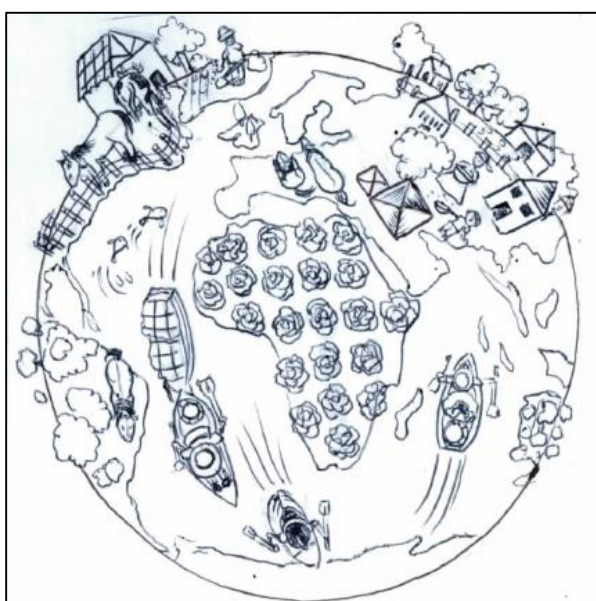
As pequenas cidades do velho mundo



Transporte por terra

O transporte por água era, geralmente, mais fácil, barato e rápido. Dessa forma, a maioria das cidades se desenvolviam próximas aos portos. Podemos dizer que a cidade de Hamburgo – região litorânea da Alemanha – estava mais perto da Bahia do que das cidades do interior do país.

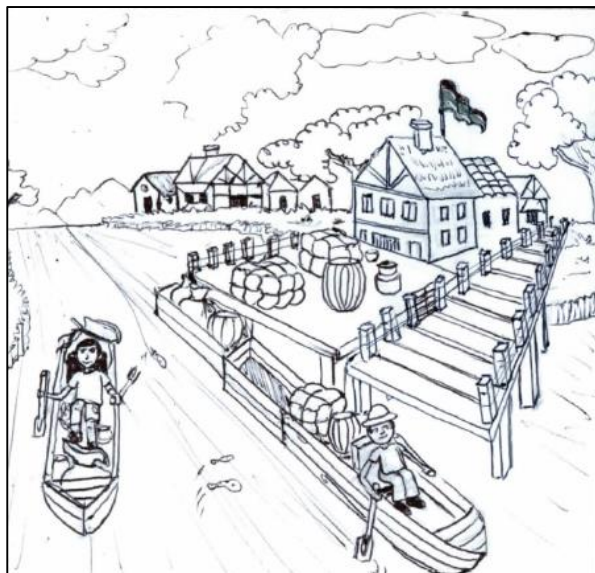
O mundo, no início do século XVIII era, portanto, para a maioria dos seus habitantes, incalculavelmente grande.



O mundo no velho mundo

Para os “homens normais”, cidadãos comuns das cidades, esse conhecimento era ainda menor. E, também, demograficamente, já que a população do planeta não era muito maior do que 1/3 da atual (na prática, não há dados demográficos concretos, já que naquela época não existia nenhuma pesquisa de recenseamento). Além disso, a concentração populacional era ainda menor, sendo assim, era menor também a colonização humana.

Por outro lado, a dificuldade na comunicação e no transporte, tanto de homens, quanto de mercadorias, deixava o mundo muito maior do que é hoje. O transporte por terra era vagaroso e desconfortável (geralmente levava-se 1 dia para percorrer cerca de 30 km em carroças).



Transporte pela água

O mundo era essencialmente rural e é impossível entendê-lo sem assimilar este fato. Em países como a Rússia e a região da Escandinávia (Noruega, Dinamarca e Finlândia) onde as cidades não haviam se desenvolvido de forma acentuada, a população era cerca de 90 a 97% rural.

Mesmo em áreas com uma forte tradição urbana, essa porcentagem não chegava a ser menor que 80%. Até mesmo na própria Inglaterra, a população urbana só veio a ultrapassar a rural pela primeira vez já em meados do século XIX.

O termo urbano inclui poucas cidades “grandes” segundo os nossos padrões – Londres tinha cerca de 1 milhão de habitantes e Paris cerca de 500 mil e algumas outras poucas tinham mais de 100 mil habitantes. Além disso, este termo inclui uma multidão de pequenas cidades de província com pouco mais de 20 mil habitantes, onde viviam a maioria dos cidadãos urbanos. Foi destas cidades que saíram os jovens ambiciosos e ardentes por fazer fortuna ou revoluções, ou as duas coisas ao mesmo tempo. Napoleão, por exemplo, veio de uma cidade chamada Ajaccio, no interior da França. Para se ter uma ideia, atualmente a cidade de Londres tem cerca de 8 milhões de habitantes, enquanto a cidade de São Mateus, no interior do estado do Espírito Santo, tem pouco mais de 100 mil habitantes.

2.1. Estrutura da sociedade

A cidade provinciana ainda pertencia essencialmente à sociedade e à economia do campo. Suas classes média e profissional eram constituídas pelos negociantes de trigo e de gado, os processadores de produtos agrícolas, os advogados e tabeliões, os empresários mercantis que exploravam os empréstimos aos fiandeiros e tecelões dos campos, e, por fim, os mais respeitáveis representantes do governo, os nobres e a Igreja.



Os servos e o Senhor

O problema agrário era, portanto, fundamental em meados do século XVIII e o ponto crucial era a relação entre os que cultivavam a terra e os que a possuíam, os que produziam sua riqueza e os que a acumulavam. Em grande parte da Europa Oriental o camponês típico era um servo, que dedicava grande parte do seu trabalho aos grandes senhores feudais. Esta região pode



Sociedade urbana

Seus artesãos e lojistas asseguravam as provisões aos camponeses e aos cidadãos que viviam às custas dos camponeses. A cidade provinciana de fins do século XVIII podia ser uma próspera comunidade em expansão, como a sua paisagem dominada por grandes construções de pedra ainda hoje testemunhada em parte da Europa Ocidental. Mas essa prosperidade vinha do campo.



Os feudos

ser considerada como uma “economia dependente”, produtora de alimentos e matérias primas para a Europa Ocidental, de forma análoga às colônias de além-mar (Américas). O senhor de terras característico das áreas de servidão era um nobre proprietário e cultivador ou um explorador de enormes fazendas.

No resto da Europa, a estrutura agrária era socialmente semelhante, ou seja, para um trabalhador ou camponês, qualquer pessoal que possuísse uma propriedade era um “cavaleiro” e membro da classe dominante. Da mesma forma, não era possível adquirir o título de nobre sem uma propriedade.

Entretanto, economicamente, a sociedade rural ocidental era bem diferente. O camponês tinha perdido muito de sua condição de servo. Ele pagava ao senhor das terras (em forma de aluguel ou fração das safras) para poder cultivá-la. Somente algumas áreas levaram o desenvolvimento agrário adiante, como a Inglaterra. Nestes lugares o que se via era uma classe de empresários agrícolas, os fazendeiros, e os trabalhadores rurais.



Os mercadores

Havia algumas exceções, principalmente na Inglaterra industrial. Porém, o industrial típico era um pobre gerente e não um capitão da indústria.

O estado mais bem sucedido da Europa no século XVIII, a Grã-Bretanha, devia plenamente seu poderio ao progresso econômico e todos os governos continentais com qualquer pretensão a uma política racional estavam fomentando o crescimento econômico e, especialmente, o desenvolvimento industrial.



O progresso econômico Inglês

Com exceção de algumas poucas regiões, a produção agrícola não acompanhava o aumento da população. Dessa forma, a atividade de comércio cresceu muito nesse período e os mercadores tornaram-se os verdadeiros campeões econômicos da época, já que, embora as atividades de mineração e fabricação estivessem se expandindo rapidamente em todas as partes da Europa, o mercador continuava a deter o seu controle.



O progresso das cidades



A ciência e a indústria

O "iluminismo", a convicção no progresso do conhecimento humano, na racionalidade, na riqueza e no controle sobre a natureza - de que estava profundamente imbuído o século XVIII - derivou sua força primordialmente do evidente progresso da produção, do comércio e da racionalidade econômica e científica que se acreditava estar associada a ambos.

As Ciências, ainda não divididas pelo academicismo do século XIX em uma ciência "pura" superior e uma outra "aplicada" inferior, dedicavam-se a solução de problemas produtivos. Inicialmente, os maiores avanços foram na área da Química, que estava intimamente ligada às atividades de laboratório e às necessidades da indústria.



O Iluminismo: Newton e Lavoisier

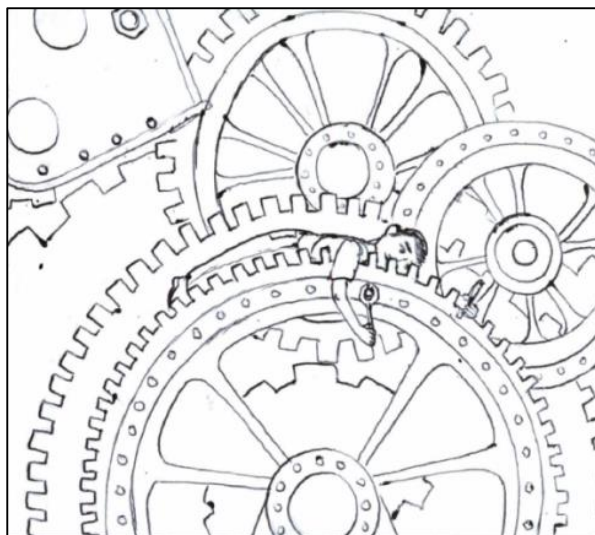
A apaixonada crença no progresso que professava o típico pensador do iluminismo refletia os aumentos visíveis no conhecimento e na técnica, na riqueza, no bem-estar e na civilização que podia ver em toda a sua volta e que, com certa justiça, atribuía ao avanço crescente de suas ideias. No começo do século, as bruxas ainda eram queimadas; no final, os governos do iluminismo, como o austríaco, já tinham abolido não só a tortura judicial mas também a escravidão.



O poder da Igreja

Com exceção da Grã-Bretanha, que fizera sua revolução no século XVII, e alguns Estados menores, as monarquias absolutas reinavam em todos os Estados em funcionamento no continente europeu. Os monarcas hereditários pela graça de Deus comandavam hierarquias de nobres proprietários, apoiados pela organização tradicional e a ortodoxia das igrejas e envolvidos por uma crescente desordem das instituições que nada tinham a recomendá-las exceto um longo passado.

Porém, o sucesso internacional do poderio capitalista britânico levou a maioria destes monarcas (ou seus conselheiros) a tentar programas de modernização intelectual, administrativa, social e econômica. Como nos dias atuais, muitos dos que adotaram estes programas estavam mais interessados nos métodos mais modernos de multiplicação de suas riquezas e poder do que com as ideias do iluminismo.



As novas relações de trabalho

3. A Revolução Industrial

Em um período relativamente pequeno, aproximadamente entre 1760 e 1830, a sociedade e a economia (inicialmente na Inglaterra) sofreram uma grande mudança. Pela primeira vez na história da humanidade os processos de produção de bens e mercadorias se tornou imensamente grande, ao ponto de produzirem lucros consideravelmente altos, à custa de baixos custos de produção e da exploração de mercados consumidores externos. Este deve ter sido o mais importante acontecimento desde a invenção da agricultura e das cidades.



Inglaterra

Na verdade, este período parece ser o ápice de um processo que se iniciou muito antes e não aconteceu na Inglaterra por acaso. De todas as nações onde poderia ter acontecido, a inglesa era a que oferecia maiores condições.

Porém, ela não se deu em razão de seu desenvolvimento científico e tecnológico, nem em razão de seu sistema educacional (ambos inferiores quando comparados a outras nações europeias, como a França). Isso porque não foram necessárias grandes inovações tecnológicas que estivessem além das capacidades dos artesãos, carpinteiros ou serralheiros da época. Até mesmo a máquina rotativa a vapor de James Watt – a máquina mais sofisticada da época – ainda utilizava conceitos físicos de um século atrás.

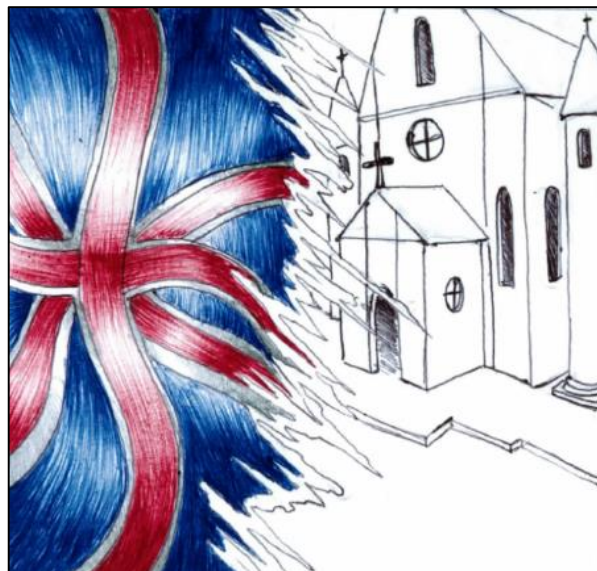
Isto não significa que os primeiros industriais não estivessem constantemente interessados na ciência e em busca de seus benefícios práticos, o que acabou estimulando o desenvolvimento da ciência em geral e, especialmente, a que estava diretamente relacionada com a indústria.

3.1. Por que na Inglaterra?

A reforma protestante quebrou os elos que uniam a Inglaterra com a Igreja Católica e foi fundamental para contribuir no processo de acumulação de riquezas, necessária para dar o impulso inicial na indústria Inglesa.



Êxodo rural



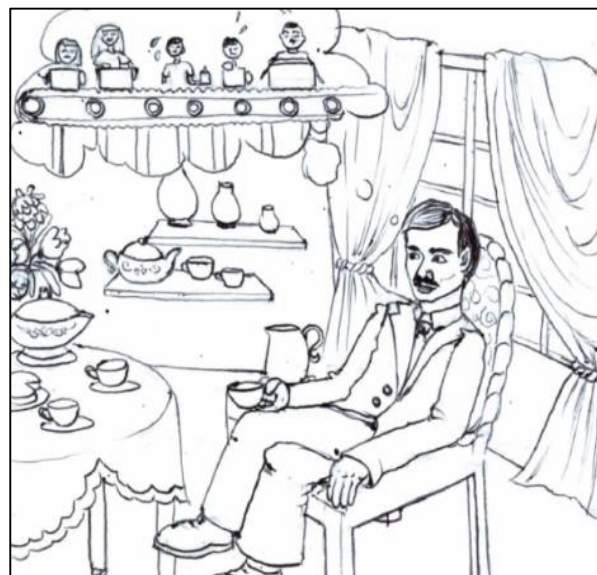
Igreja e Inglaterra: o elo quebrado

No início do século XVIII as atividades agrícolas já estavam predominantemente dirigidas para o mercado e serviram como um mecanismo de acúmulo de capital. No modo de produção feudal a terra era um bem comum e podia ser usada pelos camponeses. Através de um processo que os livros denominam de cercamento (do inglês “enclosures”) os senhores feudais cercaram suas terras e começaram a arrendá-las.

Dessa forma, a terra passou a ser vista como um bem de produção. Isso contribuiu significativamente para que a população rural migrasse para as cidades em busca de trabalhos nas manufaturas, disponibilizando uma grande quantidade de mão-de-obra barata.

Com o desenvolvimento da agricultura, passou-se a produzir mais do que o necessário para o consumo local de acordo com as necessidades impostas pelo modelo de sociedade capitalista em formação. Os mercadores emergiram como grandes acumuladores de capital e foram os principais responsáveis pelos investimentos em indústrias.

Desde o século XVII, os mercadores foram construindo seu capital, através da compra de produtos por um valor mais baixo e sua respectiva venda por um valor bem mais alto e se consolidaram como grandes financiadores da revolução industrial.



O surgimento da burguesia

Assim, a sociedade inglesa viu emergir uma classe burguesa extremamente rica e uma classe trabalhadora extremamente pobre – o proletariado.

Um considerável volume de capital social elevado - o caro equipamento geral necessário para toda a economia progredir suavemente - já estava sendo criado, principalmente na construção de uma frota mercante e de facilidades portuárias e na melhoria das estradas e vias navegáveis. A política já estava engatada ao lucro e tudo que os industriais precisavam para serem aceitos entre os governantes da sociedade era bastante dinheiro.

A maior parte da expansão industrial do século XVIII não levou de fato e imediatamente, ou dentro de um futuro previsível, a uma revolução industrial, isto é, à criação de um "sistema fabril" mecanizado que por sua vez produz em quantidades tão grandes e a um custo tão rapidamente decrescente a ponto de não mais depender da demanda existente, mas de criar o seu próprio mercado.

3.2. O surgimento da Indústria

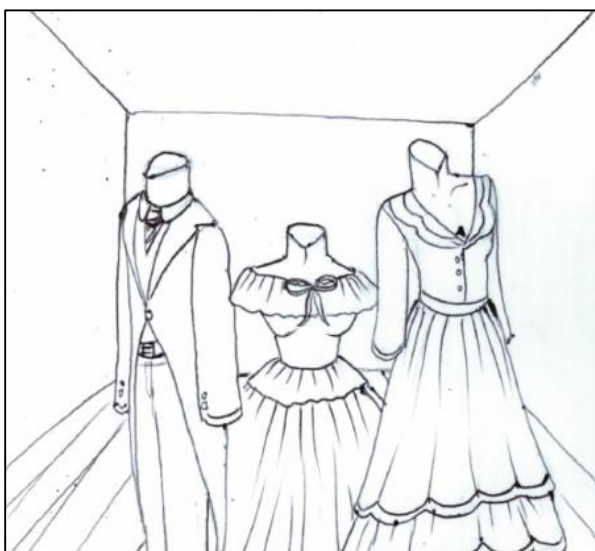
No final do século XVII os artesãos ingleses usavam a lã como matéria prima para a fabricação de tecidos e roupas.



A era do algodão

Porém, no início do século XVIII, navios ingleses vindos do Oriente introduziram os tecidos feitos de algodão e que tiveram sucesso imediato.

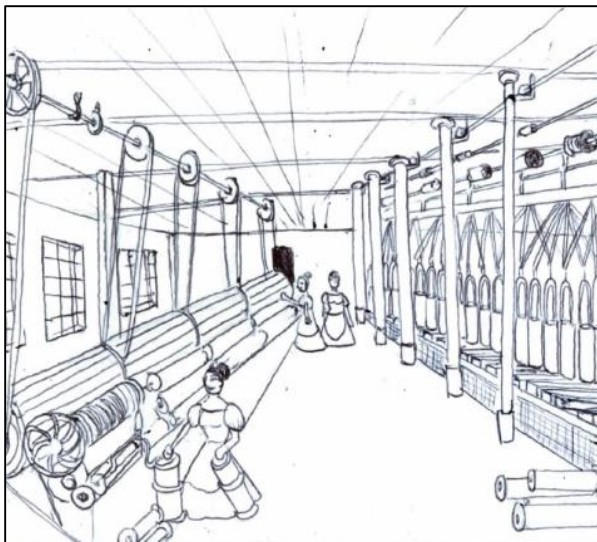
Os fabricantes locais tentaram criar indústrias de imitação e, a partir daí, o algodão começou a entrar no país como matéria prima bruta. O problema era que os produtos ingleses eram muito mais caros do que os trazidos do Oriente, já que a produção nessa época era feita, basicamente, por artesãos em suas próprias casas.



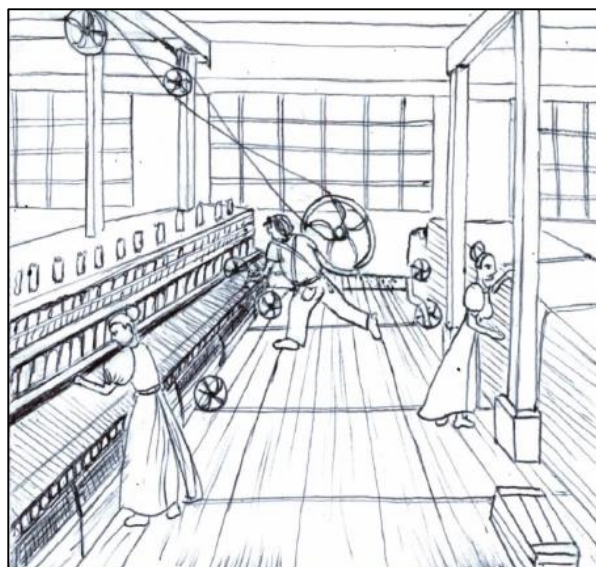
O sucesso dos tecidos

Além disso, os operários chineses tinham um nível de vida muito mais baixo e séculos de experiência. Criou-se assim uma necessidade: aumentar a produtividade e diminuir os custos, visando um lucro cada vez maior.

Nasciam, assim, as grandes fábricas têxteis, que concentravam a produção e transformavam artesãos criativos e liberais em operários dependentes, mecanizados e mal pagos. Nessa época começaram a surgir mudanças na técnica de fabricação, como a divisão do trabalho e a fabricação em série.



O trabalho nas fábricas



O tear e as fábricas de tecido

Para aumentar a produção, as fábricas começaram a usar a força da água para girar grandes rodas d'água que, por sua vez, serviam como força motora dos teares, cada vez maiores.

Por essa razão, as primeiras fábricas foram sendo construídas próximas a rios e terrenos acidentados e as cidades foram acompanhando esse desenvolvimento.

Mas as rodas d'água eram muito lentas e a produção era baixa. Com o desenvolvimento da máquina rotativa de Watt, por volta de 1770, os processos de produção tiveram uma evolução muito significativa (provavelmente a mais importante revolução nos processos de produção, desde o início da agricultura, o uso do da roda e do fogo) e a produção aumentou bruscamente.



As cidades próximas aos rios

4. O desenvolvimento da Máquina Térmica

Desde a idade média já se fabricavam materiais feitos de ferro, ouro, prata e outros materiais através de processos de usinagem que necessitavam de altas temperaturas. No início usava-se a lenha, mas logo foi necessário substituí-la, pois as florestas estavam sendo completamente devastadas e logo não haveria mais lenha.

Passou-se, então, a usar carvão mineral que era encontrado, inicialmente, em minas a céu aberto. Porém, com tempo, tornou-se necessário abrir caminho terra abaixo e logo surgiu um grande problema: constantemente as minas ficam inundadas.



Uso de lenha e carvão

4.1. A Máquina de Newcomen

Foi então que, por volta de 1710, começou-se a utilizar uma máquina aperfeiçoada pelo inglês Thomas Newcomen (1663 – 1729) que funcionava a vapor e conseguia retirar água das partes mais profundas das minas.



A máquina a vapor de Newcomen

1. Vapor a altas temperaturas é produzido no aquecedor e conduzido até o cilindro **A**;
2. A presença do vapor eleva a pressão dentro do cilindro, elevando o pistão **B** e permitindo que a haste **C** desça até a parte alagada da mina;
3. A válvula **D** é aberta para permitir um jato de água sobre o cilindro, capaz de condensar o vapor ali dentro, diminuindo a temperatura e a pressão dentro do cilindro, permitindo que o pistão desça, levantando a haste;
4. Com a subida da haste, a pressão dentro do cano onde ela estava diminui. Assim, esse espaço é preenchido pela água, que estava à uma pressão maior, dentro da mina, e escoar para fora da mesma.
5. Em seguida o procedimento é repetido.

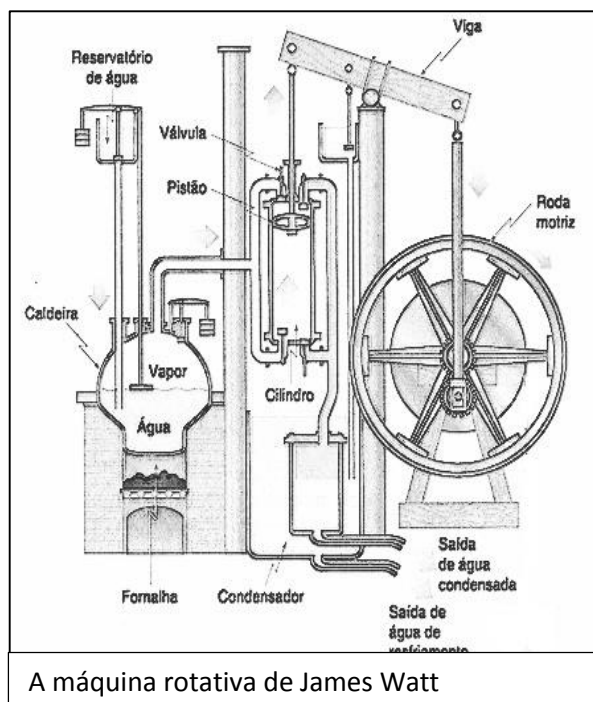
Essa máquina baseava-se em uma observação feita pelo físico francês Denis Papin em 1679: quando água é aquecida dentro de um recipiente fechado, uma enorme pressão é formada, podendo erguer a tampa da panela.

O maior problema das máquinas de Newcomen era o consumo. Siga o raciocínio: A energia gerada pela queima do combustível é usada para aquecer a água e, consequentemente, o cilindro. Como o cilindro é resfriado a todo momento, poderia haver uma economia muito grande de combustível caso a condensação ocorresse em outro recipiente.

4.2. A Máquina de Watt

Por volta de 1770, o mecânico e inventor escocês, James Watt conseguiu aperfeiçoar a máquina térmica de Newcomen e torná-la cerca de 75% mais econômica. Foi ele, também, que modificou a máquina para aproveitar o movimento de subida e descida do pistão para girar uma roda.

Esta máquina a vapor foi denominada máquina rotativa e teve uma aceitação imediata e foi usada principalmente nas fábricas têxteis que antes eram giradas por rodas d'água. Foi estimado que até 1800 foram construídas cerca de 300 dessas máquinas.



A máquina rotativa de James Watt

Vale ressaltar que até esse período, praticamente todos os avanços tecnológicos eram obtidos através de métodos empíricos, ou seja, através de tentativas e erros, o que era determinante para que os avanços tecnológicos fossem muito lentos.

Era necessário, portanto, um desenvolvimento teórico capaz de subsidiar avanços significativos em equipamentos tecnológicos que pudessem ser usados para aumentar a produção das fábricas. Por essa razão, a Termodinâmica foi área da física que experimentou avanços mais significativos durante esta época e já estava praticamente estruturada até o final do século XIX.

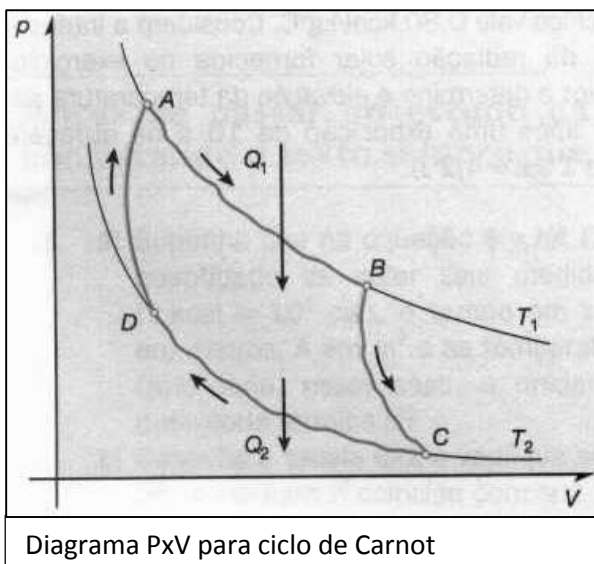
4.3. A Máquina de Carnot

Até o final do século XVIII o desenvolvimento da máquina térmica foi prático, ou seja, baseado em tentativas. No início do século XIX, um jovem engenheiro francês chamado Nicolas Leonard Sadi Carnot se interessou pelas máquinas térmicas e começou a investigar teoricamente formas de melhorar seu rendimento e encontrar um limite para tal.



Sadi Carnot

Em seus estudos, Carnot observou que sempre que o calor flui espontaneamente de um corpo para outro, há perda de rendimento. Assim, ele concluiu que o rendimento de uma máquina térmica será tanto maior quanto se consiga evitar o contato entre a fonte quente (que fornece calor ao gás) e a fonte fria (que resfria o gás).



Buscando construir um motor perfeito, onde não existisse contato direto entre as fontes quentes e as fontes frias, Carnot imaginou uma máquina onde o gás pudesse ser aquecido e resfriado (por compressão e dilatação) antes de entrar em contato com a fonte quente e a fonte fria, como mostrado no diagrama ao lado.

Para exemplificar como funcionaria, imagine um gás preso dentro de um cilindro fechado com um êmbolo que pode ser mover livremente, sem atrito. Este recipiente está em contato, ao mesmo tempo, com duas fontes, uma fonte quente e outra fria.

Agora, acompanhe o processo:

- Transformação AB: o gás, estando a uma temperatura inicial recebe calor de uma fonte quente (uma fornalha, por exemplo) e expande livremente, desprezando-se qualquer atrito entre o êmbolo e o cilindro. Nesta transformação, o gás não tem sua temperatura elevada, pois o calor recebido é usado para produzir trabalho;
- Transformação BC: isolando termicamente o gás do ambiente (e parando de fornecer calor) o gás continua a se expandir, sem trocar calor com o ambiente. Assim, sua temperatura diminuirá até que o gás pare de expandir (devemos lembrar que a temperatura de um gás é inversamente proporcional ao seu volume);
- Transformação CD: retirando o isolamento térmico do gás, ele libera calor para o ambiente e o êmbolo desce, sem que a temperatura do gás se altere. Neste caso, o trabalho realizado pelo êmbolo sobre o gás faz com que calor seja liberado para uma fonte fria (a atmosfera, por exemplo);
- Transformação DA: voltando a isolar termicamente o sistema, o gás continuará a ser comprimido, fazendo com que sua temperatura volte ao valor inicial (o mesmo da fonte quente).

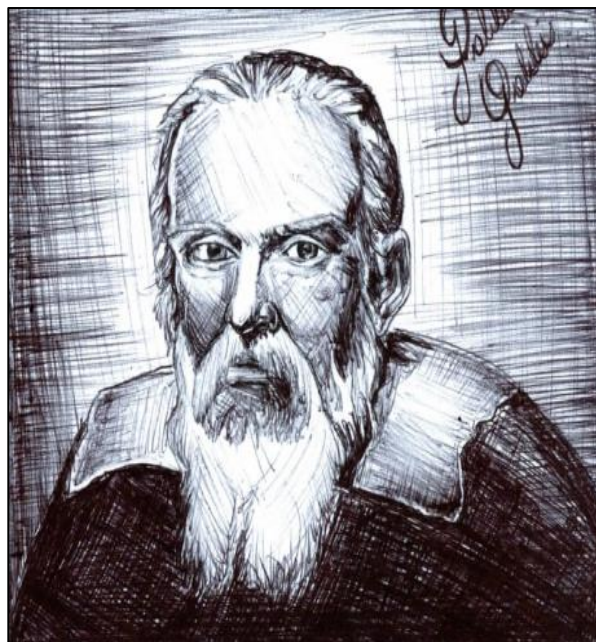
Entretanto, a máquina de Carnot é uma máquina que não pode ser construída, pois não é possível eliminar totalmente o atrito entre o êmbolo e o cilindro. Porém, a máquina de calor representa um limite máximo de rendimento que pode ser alcançado por uma máquina que usa uma fonte quente à determinada temperatura. Ou seja, se uma máquina opera recebendo calor de uma fonte quente à temperatura T_1 e rejeitando calor à uma fonte com temperatura T_2 , usando um ciclo qualquer, ela não poderá ter rendimento maior do que o calculado para uma máquina que opere usando o ciclo de Carnot.

Carnot teorizou que nenhuma máquina poderia ter rendimento igual à 100%. Mais tarde outros cientistas teorizaram que uma máquina teria rendimento de 100% caso utilizasse uma fonte fria com temperatura de -273°C . Porém, esta temperatura não pode ser alcançada, pois representaria um estado em que todas as moléculas do gás estivessem em repouso.

5. A evolução do conceito de Temperatura

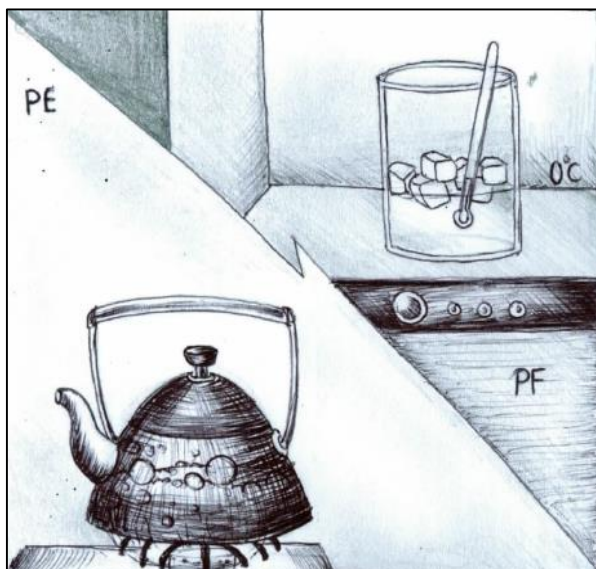
O conceito de temperatura como conhecemos hoje (resultado do movimento de partículas de um corpo) só foi concebido em meados do século XX. Até o final do século XVI existia, apenas, o conceito de quente e frio. A partir daí, e durante muito tempo, vários cientistas se dedicaram a quantificar essas sensações, sem se preocupar em definir o que realmente é a temperatura.

Galileu foi um dos primeiros a realizar experiências que pudessem quantificar essas sensações usando o princípio de o ar se expandir ao ser aquecido. Esse princípio havia sido descoberto por volta de 100 a.C. mas nunca havia sido aplicado.



Galileu Galilei

Com o desenvolvimento da técnica de soprar vidro, começou-se um processo de aperfeiçoamento dos termômetros e Ferdinando II, o Grão Duque da Toscana, por volta de 1640 construiu um termômetro, baseado em álcool dentro de um tubo de vidro selado. A partir daí, foram várias as tentativas de padronizar os valores que eram marcados em cada termômetro e, assim, foram surgindo várias escalas termométricas.

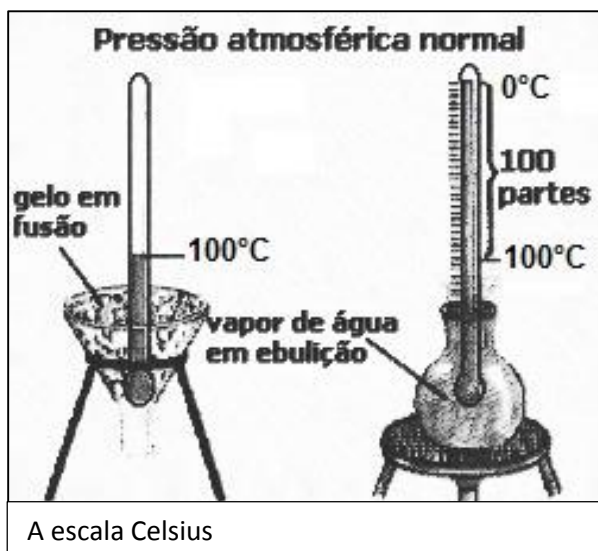


Pontos de fusão e ebulição da água

Foi Newton quem primeiro sugeriu a utilização de dois pontos de referência. Porém, naquela época não existia razão para acreditar que a água tivesse propriedades especiais que pudessem ser reproduzidas e, mesmo se tivesse, não se encontrava gelo durante o ano inteiro. Assim, no início usou-se pontos subjetivos como “a temperatura do corpo humano”, “o frio do inverno mais severo” ou “o ponto do derretimento da manteiga”. Somente no final do século XVII os pontos de fusão e ebulição da água começaram a ser difundidos. Dessa forma, várias escalas foram surgindo, adotando pontos de referência totalmente arbitrários. No início do século XVIII existiam mais de 35 escalas.

O astrônomo dinamarquês Olaf Romer, acostumando a fazer medições utilizando o sistema sexagesimal (baseado em 60 unidades) atribuiu os valores de 0° e 60° aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente. Como estava preocupado em realizar medidas da temperatura da atmosfera, posteriormente ele resolveu atribuir o valor da menor temperatura medida em sua cidade como sendo o 0° . Assim, a temperatura de fusão da água passou para $7,5^\circ$ e o de ebulição para $52,5^\circ$. Tentando tornar os cálculos mais fáceis, atribuiu o valor de 8° para a temperatura de fusão da água e 53° para a temperatura de ebulição.

Após passar uma temporada de estudos com Romer, o físico alemão Daniel Gabriel Fahrenheit aprendeu muito sobre a construção de termômetros e aprimorou o termômetro de Romer, realizando medidas quatro vezes mais precisas. Assim, para tornar os valores medidos em números inteiros, multiplicou por quatro os valores dos pontos de fusão e ebulição da água, dividindo o intervalo entre eles em 180 partes. Até hoje essa escala é muito utilizada em países de língua inglesa, adotando os valores de 32°F e de 212°F para os pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente.



A escala mais conhecida atualmente em nosso país (e também a mais usada no mundo), a Celsius (°C), foi concebida por volta de 1740 pelo astrônomo sueco Anders Celsius que, visando construir uma escala centesimal (baseada em 100 unidades) deu os valores de 100°C e 0°C aos pontos de fusão e ebulição da água, respectivamente, e dividiu o intervalo em 100 partes. Posteriormente, devido às sugestões dos construtores dos termômetros, ele inverteu esses valores.

A escala mais utilizada em trabalhos científicos, é a escala Kelvin. Esta escala também é chamada de escala absoluta pois o valor expressado nesta escala está diretamente ligado ao movimento das moléculas do corpo (ou gás) do qual se pretende medir a temperatura. Ela foi criada por Willian Thomson (também conhecido como Lorde Kelvin) após estudar o comportamento dos gases. Nesta escala, o valor 0k, correspondente ao estado em que as moléculas do corpo estariam em total repouso, e equivale aproximadamente -273°C. Assim, a temperatura de fusão da água corresponde à 273k e a temperatura de ebulição corresponde à 373k.

Assim, podemos estabelecer relações entre todas as escalas, de modo à poder comparar os valores medidos em cada uma delas.

6. A evolução do conceito de Calor

Até mesmo para estudantes do ensino superior o conceito de calor não é bem entendido. Essa definição passa por teorias bem antigas e evoluções que, posteriormente, foram admitidas como erradas. Porém, é interessante notar que para o estágio em que as Ciências se encontravam naquele momento, essas teorias são completamente plausíveis.

6.1. O Flogístico

As primeiras ideias que se notícia sobre o conceito de calor são da Grécia Antiga. Para Empédocles, o fogo era considerado um dos quatro elementos básicos da matéria e Aristóteles via no calor e no frio duas qualidades elementares da matéria, opostas e simétricas. Para ele o fogo era originado por um movimento de partículas extremamente pequenas e o calor era visto como uma propriedade de um corpo ser quente ao toque.

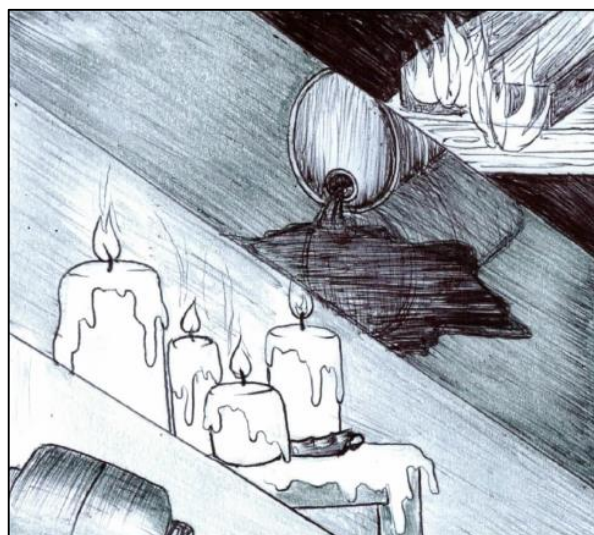
Até hoje essa ideia faz parte do senso comum e é, inclusive, corroborada por vários dicionários. O dicionário Aurélio (online) traz o significado de CALOR, entre outras coisas, como:

- Qualidade daquilo que é quente; temperatura elevada, tempo quente; os grandes calores do verão...

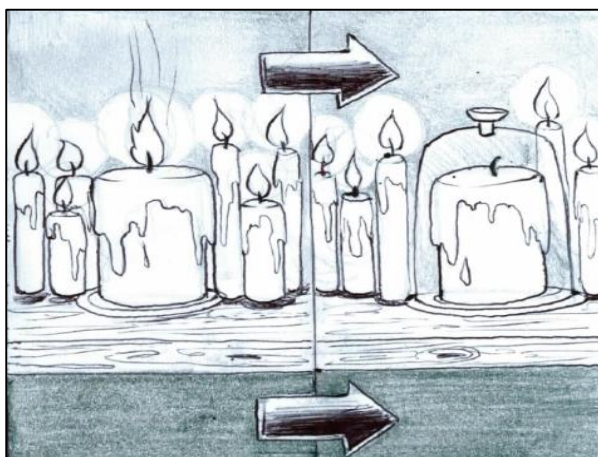
Pouco antes de 1700, George Ernst Stahl (químico e médico alemão) baseou-se nas ideias do alquimista alemão Johann Becher para fundamentar sua teoria do Flogístico. Para ele, todos os materiais combustíveis continham uma certa quantidade de uma substância chamada flogístico. Assim, quando um corpo queima, ele libera flogístico e fica reduzido a ingredientes mais elementares. Assim, substâncias que queimavam bem eram tinha flogístico em grande quantidade, ao passo que substâncias que não queimavam não possuíam esse elemento.



Sensações térmicas: o quente e o frio



Características do flogístico



O fenômeno da vela que se apaga

O flogístico tinha a propriedade de ser absorvido pelo ar e tinha “afinidade” com os sólidos, sendo mais fácil se combinar com estes do que com fluidos. Assim, estava explicado o fato uma vela parar de queimar dentro de um recipiente fechado: o ar ficava saturado de flogístico e quando não conseguia mais absorvê-lo (como uma esponja) a combustão terminava.

6.2. O Calórico

A ideia do Flogístico perdurou até 1760, quando um químico britânico chamado Joseph Black postulou novas ideias que seriam a base da teoria do calórico. Segundo ele todos os corpos continham o calórico, um fluido indestrutível e imponderável, cujas partículas constituintes eram auto repulsivas, mas atraídas pelos constituintes de outras substâncias.

Essas ideias serviram para explicar diversos fenômenos físicos observados na época:

- Quando dois corpos são colocados em contato térmico, o calórico flui do corpo quente para o corpo frio;
- Quando em contato com o fogo, o corpo recebe mais calórico e este, por ser auto repulsivo, faz com que as dimensões do corpo aumentem.
- Os diferentes calores específicos das substâncias se deviam ao fato dele ser atraído de modo desigual pelas diferentes espécies da matéria.
- No estado sólido, uma substância continha o calórico em pequena porcentagem. Nos líquidos ela aumentava e se tornava maior ainda nos gases.

Para ter ideia da importância dessa teoria, Lavoisier chegou a incluir em sua tabela periódica o elemento químico chamado “calórico”. Porém, o maior problema era que, segundo essa teoria, o calor deveria ser conservado.

Com o advento da revolução industrial, a Termodinâmica passou a chamar atenção de vários setores da Física e vários fatores levaram à por abaixo a teoria do calórico.

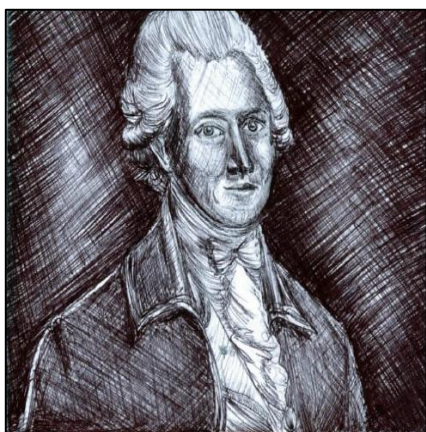


Instrumentos de laboratório



Lavoisier

6.3. Calor como uma forma de Energia



Benjamin Thompson

Pouco antes de 1800, Benjamin Thompson, o Conde de Rumford, fez algumas observações enquanto supervisionava a perfuração de canhões em uma fábrica.

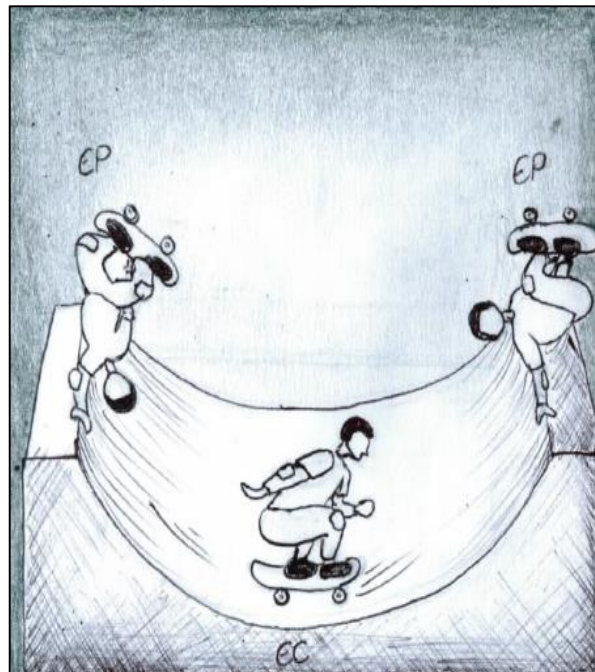
Ele percebeu que a água que era utilizada para resfriar os canhões durante o processo de perfuração chegava a temperaturas acima do ponto de ebulição. Além disso, o processo de aquecimento da água continuava enquanto houvesse atrito entre as peças e não havia qualquer alteração de peso nos corpos.

Assim, ele concluiu que uma coisa que pudesse ser fornecida infinitamente a um sistema não poderia ser uma substância (lembre-se que o calórico era considerado um fluido).

Em 1812, Humphrey Davy (físico e químico britânico) publicou um artigo onde concluiu que “a causa imediata dos fenômenos caloríficos é o movimento”. Lavoisier e Laplace também expressaram uma certa desconfiança quanto à teoria do calórico, mas não obtiveram métodos suficientes para derrubá-la definitivamente.

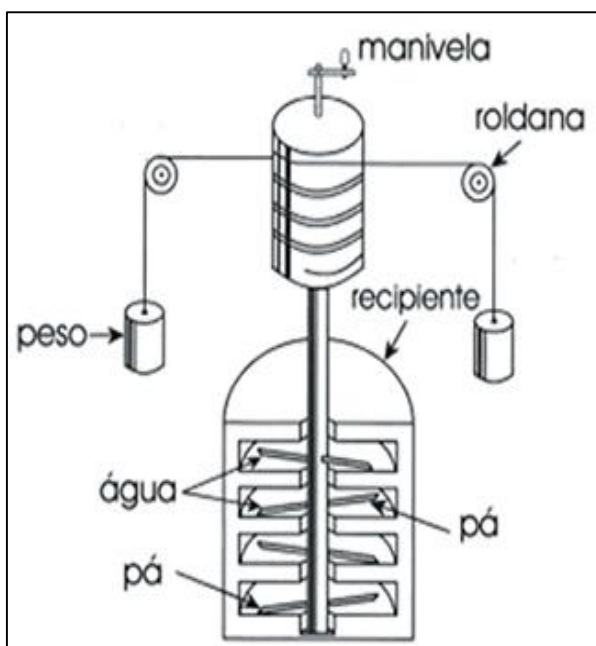
Por volta de 1840, o médico alemão Julius Robert Von Mayer, baseou-se em observações médicas e sugeriu que a combustão no corpo humano é responsável por produzir calor e trabalho. Além disso, o movimento do corpo também gera calor, que se mistura ao calor gerado pela combustão. Assim, concluiu que os processos químicos no corpo humano produziam movimento, trabalho e calor que podiam ser convertidos uns nos outros.

Então, sugeriu que uma coisa, que hora se manifestava como calor, ora como movimento, se conservava. Ele chamou essa coisa de força e identificou outras forças presentes na natureza, como a força de queda, de movimento, calor, magnetismo, eletricidade e a força solar.



Energia potencial e energia cinética

Porém, como seu trabalho foi baseado em observações médicas, não teve credibilidade e foi ignorado por quase 20 anos. Esse fato levou-o a tentativa de suicídio, quando tinha pouco mais de 30 anos.



O experimento de Joule

Em 1845, o britânico James Prescott Joule propôs um aparato para medir a relação entre o trabalho e o calor. A experiência consistia em colocar, dentro de um recipiente com água, um conjunto de hélices, ligadas, através de roldanas, a dois pesos que caíam sob a ação da gravidade e faziam aumentar a temperatura da água no recipiente devido ao movimento das hélices.

Ele chegou à conclusão de que 1 cal (unidade de medida usada em medições de quantidade de calor) era igual a 4,154 J (unidade de medida usada em energia mecânica). Este valor tem um desvio de apenas 1% em relação ao valor atualmente aceito. Assim, ele concluiu que a energia potencial podia ser convertida em energia cinética e esta podia transformar-se em calor.



Clausius

Couberam aos físicos alemães Hermann Ludwig Von Helmholtz e Rudolf Julius Emanuel Clausius o enterro definitivo da teoria do calórico. Com um tratamento teórico e matemático preciso e minucioso, eles teorizaram que se calor e energia mecânica podem produzir trabalho, então são dois tipos de um mesmo fenômeno, designado energia.

Este conceito ficou conhecido por Princípio da Conservação da Energia: a energia total de um sistema isolado permanece constante quaisquer que sejam as transformações sofridas por ele. Este princípio também é conhecido como “**1º Lei da Termodinâmica**” e pode ser expresso assim:

$$dQ = dW + dU$$

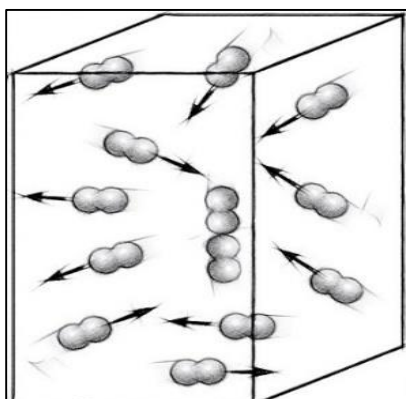
Onde dQ representa um acréscimo de quantidade de calor à um sistema, dW o trabalho resultante e dU a variação da energia interna do sistema.

Foi Clausius quem também idealizou o que hoje conhecemos como “**2º Lei da Termodinâmica**”. Analisando as ideias de Carnot ele concluiu que: “não existe qualquer sistema térmico perfeito que converta todo o calor em trabalho. Existe sempre uma determinada perda de energia para o ambiente”.

Um ano depois, William Thomson (conhecido como Lord Kelvin) também propôs uma formulação da 2ª Lei: “Nenhum processo é possível em que o único resultado seja a absorção de calor de um recipiente e a sua completa conversão em trabalho”.



Transformações entre tipos de energia



Teoria cinética dos gases

No século XX ganhou força a Teoria Cinética dos Gases e as definições de calor como uma forma de energia, como conhecemos hoje. Porém, devemos ter em mente que o processo que levou às conclusões atuais não foram simples, quanto menos triviais. Atualmente, podemos observar as diversas formas de energia e suas transformações em diversas situações do cotidiano e as tecnologias que se baseiam na termodinâmica compreendem desde painéis de pressão até grandes caldeiras industriais, passando por motores de automóveis e motocicletas, além de usinas responsáveis pela transformação de outros tipos de energia em energia elétrica.

7. Sugestão de leituras e vídeos

Livros:

- A evolução das ideias da Física – Antonio S. T. Pires. Editora Livraria da Física;
- A era das revoluções: 1789 – 1848 – Eric Hobsbawn. Editora Paz e Terra;
- História da riqueza do homem – Leo Huberman. Editora Zahar;
- A história da termodinâmica clássica: uma ciência fundamental – Antonio Braz de Pádua, Cléia Guiotti de Pádua e João Carlos Correia Silva. Editora Eduel;
- Física: volume 2 – Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga. Editora Scipione;
- Universo da Física: volume 2 – José Luiz Sampaio e Caio Sérgio Calçada. Editora Atual;
- Convexões com a Física: volume 2 – Blaidi Sant’Anna, Hugo Carneiro Reis, Glória Martini e Walter Spinelli. Editora Moderna.

Filmes:

- As consequências da revolução industrial – documentário da rede BBS;
- História da Ciência (The history of Science) – documentário da rede BBC;
- Lendas da Ciência: Queimar – as máquinas que mudaram a história – documentário da produtora Nickel Odeon exibido pela TV Escola;
- Germinal – de Claude Berri;
- Vidas marcadas – de Bill Douglas;
- Oliver Twist – de David Lean;
- Tempos modernos – de Charles Chaplin;
- Pelle, o conquistador – de Billie August;
- Os miseráveis – de Billie August (1998) e de Tom Hooper (2012).