



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Uma Breve História das Máquinas Térmicas.

Parece haver sido o grego Teodoros [floresceu cerca (f.c.) 530 a.C.] o primeiro a utilizar o poder de expansão do ar quente ao introduzir um sistema de aquecimento central no mais famoso templo construído em Éfeso, na Ásia, para homenagear a *Deusa Diana*. Registre-se que esse tipo de expansão foi muito utilizado nos Santuários dos Deuses da Antiguidade para provocar **aparicões divinas**. Por exemplo, quando se queimavam oferendas no altar do Templo Sagrado, o ar quente, ao expandir-se, abria a porta do Santuário e a Divindade aparecia ao devoto. [Benjamin Farrington, **A Ciência Grega** (IBRASA, 1961).]

Os fenômenos sobre a expansibilidade térmica do ar também foram objeto de estudo por parte dos gregos, tais como o filósofo Empédocles da Akragas (atual Agrigento) (c.490-c.430), o físico Estratão de Lâmpsaco (c.340-c.270) e o engenheiro Philon de Bizâncio (c.300- ?). Este descreveu um aparelho que demonstrava a relação entre a expansão do ar e a variação de temperatura, que é considerado como o precursor do termômetro.

Nas primeiras décadas da Era Cristã (d.C.), os fenômenos térmicos voltaram a ser estudados pelo engenheiro grego Heron de Alexandria (20 d.C.- ?). Com efeito, em sua obra intitulada **Pneumática** (composta de dois livros), Heron descreve um dispositivo semelhante ao de Philon, bem como apresenta, também, a descrição de uma **máquina a vapor – a Eolípila** (do latim *Aeolipyla*, que significa “porta de Eola”) -, isto é, uma esfera oca com dois tubos recurvados e presos na mesma. Fervendo então a água contida na esfera, o vapor d’água resultante, ao escapar pelos tubos, fazia a mesma girar. Observe-se que esse dispositivo já havia sido rudimentarmente descrito pelo arquiteto romano Marcus Vitruvius Pollio (c.90-20), em seu tratado **De Architectura** (em 10 volumes), escrito por volta de 40a.C. [Armand Gibert, **Origens Históricas da Física Moderna: Introdução Abreviada** (Fundação Calouste Gulbenkian, 1982)].

Somente quinze séculos depois da **Eolípila**, apareceram novos trabalhos com o vapor d’água e, desta vez, para usá-lo a seu serviço. Com efeito, em 1615, o engenheiro francês Salomon de Caus (1576-1626) publicou o livro intitulado **Les Raisons des Forces Mouvantes** (“As Razões das Forças Moventes”) no qual descreveu um sistema, baseado nas ideias de Heron, que poderia ser usado para elevar água por meio do fogo. Muito mais tarde, em 1679, o médico e físico francês Denis Papin (1647-c.1712) inventou o **digestor de calor** (hoje conhecida como **panela de pressão**) que se constituía num tubo com uma tampa apropriada que confinava vapor d’água no interior do mesmo, até que uma alta pressão fosse conseguida e, com isso, o ponto de ebulição da água aumentava consideravelmente. Em 1689, Papin inventou uma **bomba centrífuga**, que era uma **máquina a vapor** destinada a elevar água de um canal entre as cidades alemãs Kassel e Karlshaven. Um ano depois, em 1690, ele escreveu o artigo intitulado **De Novis Quibusdam Machinis** (“Um Novo Tipo de Máquina”) no qual descreveu o funcionamento da **bomba centrífuga**. Ainda nesse artigo, apresentou sua teoria, ainda imperfeita, de uma máquina funcionando pelo jogo alternativo de um êmbulo. Essa teoria resultou de sua observação de que a água fervida, colocada em um tubo oco, faria com que o vapor resultante deslocasse uma espécie

de êmbulo colocado na outra extremidade do tubo. Em 1698, Papin enviou cartas ao filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), nas quais mencionou que estava trabalhando em uma máquina para elevar água a uma grande altura pela força do fogo, e que, com tal força havia conseguido movimentar uma pequena carruagem (www.nndb.com/people/558/000096270).

No final do Século 17, depois de praticamente desmatar sua floresta, a Inglaterra passou a usar o carvão mineral como fonte de energia. No entanto, as minas desse carvão eram constantemente inundadas de água e seu esgotamento era feito manualmente, constituindo-se em uma tarefa penosa para quem a realizasse. Em vista disso, em 1698, o inventor e engenheiro inglês Thomas Savery (c.1650-1715) desenvolveu um tipo de **máquina a vapor**, que era um dispositivo que produzia vácuo pela condensação de vapor d'água. Tal dispositivo, ao ser conectado com um tubo longo e mergulhado no interior de uma mina de carvão alagada, aspirava água devido à formação do vácuo. Por essa razão, esse dispositivo (que foi patenteado por Savery) ficou conhecido como o **amigo do mineiro**.

Por apresentar muitas limitações, principalmente quando envolvia pressões altas (acima de oito atmosferas), a **máquina de Savery** foi aperfeiçoada pelo inventor e engenheiro inglês Thomas Newcomen (1663-1729), em 1705, ao construir cilindros polidos nos quais pistões (êmbulos) se ajustavam. O movimento de vaivém desses pistões devia-se, respectivamente, à expansão do vapor, já que, por causa do resfriamento decorrente dessa expansão, havia a formação de vácuo e, conseqüentemente, a pressão atmosférica baixava o pistão. No entanto, como a água destinada a condensar o vapor esfriava também o cilindro, desse modo, grande quantidade de calor era desperdiçada. Apesar dessa limitação, a **máquina de Newcomen** foi empregada por vários anos.

Em 1705, Leibniz enviou para Papin um esquema da **máquina de Savery** que conseguia elevar água. Como já havia trabalhado nesse problema, esse esquema o estimulou a continuar seus estudos sobre esse tipo de máquina. Assim, em 1707, Papin escreveu o livro **Ars Nova ad Aquam Ignis Adminiculo Efficacissime Elevandum** (“Uma Nova Maneira de Bombear Água Usando Vapor”) no qual apresentou suas ideias sobre a **máquina a vapor**, inclusive com a descrição de válvulas de segurança para evitar acidentes (www.brasilecola.com/biografia/denis-papin.htm). Note-se que, em 1709, Papin construiu o primeiro **barco a vapor** [baseado no movimento de um êmbulo (pistão) devido ao vapor] com pás propulsoras ao invés de remos. Ele experimentou esse barco nas águas do Rio Fulda, na Alemanha, sob a vista de grande multidão distribuída em suas margens. Assustados com esse invento concorrente, os barqueiros tomaram de assalto o barco de Papin e fizeram-no em pedaços.

A primeira **máquina a vapor com dois cilindros** foi projetada pelo mecânico e inventor russo Ivan Ivanovich Polzunov (1728-1766), em 1763. Ela foi construída no dia 30 de maio de 1766, três dias antes de ele morrer. Registre-se que um modelo da **máquina de Polzunov** se encontra no *Museu de Barnaul*, na Rússia, e que ainda hoje é colocada em funcionamento (en.wikipedia.org/wiki/Ivan_Polzunov).

A limitação da **máquina de Newcomen** analisada acima, ou seja, a de esfriar também o cilindro foi contornada pelo engenheiro escocês James Watt (1736-1819), em maio de 1765, ao inventar o **condensador** – um dispositivo isolado para resfriar o vapor d'água – e adaptá-lo à **máquina de Newcomen**. Em 1769, Watt patenteou sua invenção e começou a comercializá-la. Além disso, continuou o seu aperfeiçoamento. Por exemplo, em 1782, ele simplesmente abandonou o uso da pressão atmosférica (sobre essa pressão, ver verbete nesta série) para baixar os pistões, e passou, então, a utilizar o próprio vapor para realizar essa tarefa. Desse modo, o vapor entrava alternativamente nas duas extremidades do pistão, e este, portanto, tanto empurrava quanto aspirava o vapor. Em vista disso, esse seu novo invento ficou conhecido como **máquina de ação dupla**. Logo depois, em 1783, Watt introduziu a definição de **cavalo-vapor** (CV) [“horse-power”

(HP)], ao usar um robusto cavalo e mostrar que ele poderia elevar à altura aproximada de 1,20 m, um peso de 68 kg em um segundo. Hoje, essa unidade de **potência**, no sistema Metro-Kilograma-Segundo (MKS) (vide verbete nesta série), recebe o nome de **watt**, em sua homenagem. [W. T. Sedgwick, H. W. Tyler e R. P. Bigelow, **História da Ciência** (Editora Globo, 1950); Gibert, op. cit.]. Um ano depois, em 1784, Watt inventou o **regulador centrífugo** que, automaticamente, controlava a produção de calor de suas máquinas. Por fim, em 1790, Watt completou a invenção da hoje **máquina a vapor de Watt** incorporando a ela um **medidor de pressão**.

Uma nova ideia sobre a aplicação prática do vapor d'água foi apresentada pelo engenheiro e inventor norte-americano Robert Fulton (1765-1815). Com efeito, em 1797, ele propôs ao governo do Imperador Napoleão Bonaparte (1769-1821) a construção de um submarino movido a vapor – o **Nautilus** –, para que o mesmo pudesse ser usado na guerra contra a Inglaterra. Essa ideia, contudo, foi rejeitada por aquele governo. No entanto, como ele voltou a insistir nesse projeto, agora junto ao Ministro da Marinha Francesa, Napoleão deu-lhe então a concessão para construir o primeiro **submarino a vapor** - o **Nautilus**, que ficou pronto em 1800. É oportuno destacar que, em 17 de agosto de 1807, Fulton atravessou o Rio Hudson, nos Estados Unidos, com o primeiro **barco a vapor**, construído por ele e pelo diplomata norte-americano Robert R. Livingston (1746-1813): o *North River Steamboat of Clermont*, logo denominado pela imprensa de **Clermont**. Esse barco, com a potência de 24 HP, viajava a uma velocidade de 8 km/h. Registre-se que Fulton e Livingston já haviam construído um **barco a vapor** com o qual viajaram no Rio Sena, no dia 09 de agosto de 1803, viajando contra a correnteza e com uma velocidade de 5-6 km/h. (en.wikipedia.org/wiki/Robert_Fulton).

As máquinas a vapor vistas acima apresentavam uma eficiência (rendimento) muito baixa, cerca de 5 a 7 por cento. Em vista disso, em 1803, o general e engenheiro militar francês Lazare Nicolas Marguerite Carnot (1753-1823) estudou essa deficiência denominada por ele de **força viva virtual**, usando o conceito de **energia potencial** [Sir Edmund Taylor Whittaker, **A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories** (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1951)]. É interessante notar que o físico e médico inglês Thomas Young (1773-1829) publicou, em 1807, seu livro intitulado **Lectures on Natural Philosophy** (“Conferências sobre Filosofia Natural”) no qual usou o termo **energia** no sentido hoje conhecido, qual seja: a *capacidade de realizar trabalho*.

O estudo do rendimento da **máquina a vapor** iniciado por Lazare Carnot, em 1803, conforme vimos acima, foi retomado por seu filho, o físico francês Nicolau Léonard Sadi Carnot (1796-1832), e apresentado em seu livro intitulado **Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer cette Puissance** (“Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo e sobre as Máquinas Próprias para Desenvolver essa Potência”), publicado em 1824. Nesse livro, Carnot descreve uma máquina ideal, sem atrito, que realiza um ciclo completo, de modo que a substância usada – vapor, gás ou outra qualquer – é levada de volta a seu estado inicial. Desse modo, Carnot afirmou: - *A potência motriz do fogo (calor) é independente dos agentes empregados para produzi-la; sua quantidade é determinada somente pelas temperaturas dos corpos entre os quais, no resultado final, ocorre a transferência do calórico*. Nesse ciclo, mais tarde conhecido como **ciclo de Carnot**, o calórico (vide verbete nesta série) era transformado em “força mecânica” e essa transformação dependia apenas da diferença de temperatura absoluta entre a da **fonte quente** (caldeira: T_1) e a da **fonte fria** (condensador: T_2). É oportuno notar que a **potência motriz do fogo** usada por Carnot é hoje denominada de **rendimento** (η), dada por: $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$.

Ao comparar a “queda” do calórico em sua máquina com a queda da água em uma caixa d'água, e ao considerar o fato de que essa água pode voltar à sua caixa por intermédio de uma bomba, Carnot concluiu que sua máquina poderia trabalhar de modo *reversível*, isto é, ora deixando o calórico “cair” da fonte quente para a fonte fria, ora “subindo” da fonte fria para a fonte

quente. Havia, no entanto, uma pergunta intrigante, qual seja: como era que a conservação do calórico nesse processo *reversível* se coadunava com a conservação do calórico nos processos *irreversíveis* como, por exemplo, a produção de calor por atrito nas famosas experiências (vide verbete nesta série) realizadas pelo físico anglo-norte-americano Sir Benjamin Thompson, Conde de Rumford (1753-1814), em 1798 e 1799? Carnot estava consciente dessas dificuldades tanto que, em 1832, em uma série de notas escritas pouco antes de morrer (sua morte ocorreu ainda em 1832) e publicadas após sua morte, descreveu novas experiências nas quais procurava determinar o **equivalente mecânico do calor** (vide verbete nesta série), pois começara a desconfiar da “materialidade” do calórico. Segundo o físico e historiador da ciência, o brasileiro Roberto de Andrade Martins (n.1950) [*Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **6**, p. 63 (1984)], a morte prematura de Carnot aos 36 anos de idade impediu de ele ser o pai de toda a Termodinâmica.

A **máquina de Carnot** foi estudada pelo físico francês Benoit-Pierre-Émile Clapeyron (1799-1864), em 1834 (*Journal de l'École Polytechnique* **14**, p. 190), ocasião em que o **ciclo de Carnot** foi pela primeira vez representado graficamente (hoje, esse gráfico é conhecido como **diagrama P-V**) por duas transformações **isotérmicas** (que mantêm a temperatura constante) e por duas **adiabáticas** (que mantêm a troca de calor constante). De posse desse gráfico e de sua famosa Equação dos Gases Perfeitos (ver verbete nesta série), Clapeyron demonstrou, matematicamente, que a produção de **trabalho** na **máquina de Carnot** dependia somente da diferença de temperatura absoluta entre os reservatórios térmicos considerados por Carnot. E mais ainda, que a máquina e o gás utilizado na mesma retornavam ao seu estado inicial, no final de cada ciclo, com o calórico sendo conservado nesse ciclo.

É interessante registrar que, sobre o livro de Carnot (**Réflexions**), ocorreram duas polêmicas entre os Historiadores da Ciência: a primeira relaciona-se com o fato de Carnot haver usado, distintamente, os termos **calor** (“chaleur”) e **calórico** (“calorique”). Para alguns desses Historiadores, o **calórico** de Carnot seria a antecipação do conceito de **entropia** proposto pelo físico alemão Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888), em 1865 (vide verbete nesta série). [V. K. Lamer, *American Journal of Physics* **22**, p. 20 (1954) e *American Journal of Physics* **23**, p. 95 (1955)].

A segunda polêmica refere-se ao *mote* que estimulou Carnot a estudar o rendimento de uma **máquina térmica**. Alguns Historiadores acreditam que foi o **motor a gás** construído pelo físico francês Charles Cagniard de la Tour (1777-1859), em decorrência de seus estudos realizados, entre 1822-1823, sobre os efeitos do calor e da pressão sobre certos líquidos que se tornam gasosos (vide verbete nesta série). Contudo, outros acham que o motivo foi a **máquina de Watt** [Thomas Samuel Kuhn, *American Journal of Physics* **23**, p. 91 (1955); Lazlo Tisza, **Generalized Thermodynamics** (MIT Press, 1966)]. No entanto, o historiador inglês Peter Michael Harman (n.1945), em seu livro **Energy, Force, and Matter** (Cambridge University Press, 1985), afirma que Carnot foi estimulado pelos trabalhos de seu pai Lazare, referidos anteriormente.

Mais uma aplicação prática da **maquina a vapor** foi a **locomotiva a vapor** – a **Active** - construída pelo engenheiro e inventor inglês George Stephenson (1781-1848). Com essa locomotiva ele transportou, em 17 de setembro de 1825, pela primeira vez, 450 pessoas no trecho Darlington-Stockton, na Inglaterra, com uma velocidade de 24 km/h. Em 15 de setembro de 1830, construiu uma nova **locomotiva a vapor** - a **Rocket** -, que desenvolvia uma velocidade de 58 km/h, usada no deslocamento de pessoas no trecho Liverpool-Manchester, na Inglaterra. Sobre a história de essa locomotiva ver o seguinte *site*: (en.wikipedia.org/wiki/Stephenson_Rocket).

Entre 1833 e 1835, os engenheiros industriais e inventores russos Yefim Alekseyevich Cherepanov (1774-1842) e seu filho Miron Yefimovich Cherepanov (1803-1849) construíram as primeiras **locomotivas a vapor** russas. Em 1837, eles também construíram, na Rússia, a primeira **estrada de ferro**, que ia de uma de suas fábricas, localizadas no vilarejo de Nizhny Tagil, até uma mina de cobre (Cu). Apesar do sucesso de suas locomotivas, que só eram usadas em suas

fábricas, elas não conseguiram substituir os veículos de tração a cavalo usados na Rússia. Ver o site: (en.wikipedia.org/wiki/Yefim_Alekseyevich_Cherepanov_and_Miron_Yefimovich).

Agora, vejamos outros tipos de **máquinas térmicas**. Primeiramente, tratemos do **motor de combustão interna** (MCI). Segundo nos conta o escritor norte-americano Tom Philbin (n.1934) [**As 100 Maiores Invenções da História** (DIFEL, 2006)], o primeiro MCI deve-se ao engenheiro inglês Robert Street, com sua patente inglesa que lhe foi concedida em 1794. Seu MCI consistia em um cilindro com um pistão conectado a um braço de articulação que operava uma bomba d'água simples. O cilindro – envolvido em um tubo de resfriamento com água – estendia-se até um forno que o aquecia até atingir a temperatura na qual uma mistura de ar e combustível líquido entrava em ebulição. É oportuno destacar que, antes de usar combustível líquido (por exemplo, álcool e derivados do petróleo), as **máquinas térmicas** usavam gases expelidos pela ignição de pólvora.

O **motor Street** foi sendo cada vez mais aperfeiçoado. Por exemplo, em 04 de dezembro de 1823, o engenheiro inglês Samuel Brown obteve a patente inglesa de um **motor a gás**. Por essa mesma época, conforme vimos acima, o francês de la Tour construiu também um **motor a gás**. Mais tarde, em 1838, o engenheiro inglês William Barnett construiu o primeiro **motor de dois tempos** (MCI-2T) (“two-stroke”) usando uma bomba externa de ar e combustível. Em 1860, o engenheiro francês Jean Joseph Étienne Lenoir (1822-1900) patenteou MCI-2T que utilizava válvulas tubulares deslizantes e tendo o gás de iluminação como seu principal combustível (en.wikipedia.org/wiki/Étienne_Lenoir). Mais tarde, em 1872, o engenheiro norte-americano George Brayton (1830-1892) também patenteou um MCI-2T que possuía um cilindro para compressão, uma câmara de combustão, e um cilindro separado no qual os produtos do querosene, usado como combustível, se expandiam (en.wikipedia.org/wiki/George_Brayton).

Uma inovação importante no MCI aconteceu, em 1862, quando o engenheiro francês Alphonse Eugène Beau de Rochas (1815-1893) patenteou o princípio do MCI com um “ciclo de quatro tempos” (MCI-4T). Contudo, somente em 1876, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto (1832-1891) construiu o MCI-4T proposto por Beau de Rochas. Nesse tipo de motor, uma mistura de gás de carvão (usados nas cidades) com ar era queimada formando gases quentes, que se expandem rapidamente e empurram os pistões do motor, levando-os a mover-se em quatro tempos – o famoso **ciclo Otto** - composto de: 1) **admissão** ou **aspiração**; 2) **compressão**; 3) **combustão**; 4) **explosão**. Otto obteve a patente norte-americana (*USPatent:178.023*) de seu invento, em 30 de maio de 1876. Por sua vez, em 1879, o engenheiro russo Ognoslav Stefanovich Kostovich (1851-1916) começou a construir um **motor Otto** que funcionaria com combustível líquido leve, e que foi concluído em 1883. Em 1885, ele construiu um modelo mais aperfeiçoado com a potência de 60-80 HP, e que pesava 240 kg. Essa MCI, que tinha oito cilindros (pistões) distribuídos em duas colunas de quatro, foi patenteada em 1888 pelo governo russo. É oportuno destacar que, posteriormente, a aviação russa foi desenvolvida usando cilindros horizontais. (G. A. Davidovich: <http://eng.polym.us/ru>.)

Um outro tipo de **máquina térmica** foi construído pelo engenheiro sueco Carl Gustav Patrik de Laval (1845-1913), em 1883. Trata-se da **turbina a vapor** (de **impulsão** e de **reação**), que atingia a velocidade angular de 42.000 rotações por minuto (rpm), e usada como desnatadeira (máquina para desnatar, isto é, tirar nata ou gordura do leite). Na **turbina de impulsão**, um fluido de alta pressão e baixa velocidade é dirigido por intermédio de um esguicho (“nozzle”) fixo às palhetas do rotor; na **turbina de reação**, o esguicho é preso no próprio motor. Logo depois, em 1884, o engenheiro inglês Sir Charles Algernon Parsons (1854-1931) inventou a **turbina a vapor** constituída de múltiplos estágios, formada de uma série de rodas no mesmo eixo, que giravam a 18.000 rpm. Nessa turbina, o vapor passava de uma roda para a outra, rodas essas que aumentavam de diâmetro à medida que a pressão do vapor diminuía. Desta maneira, cada roda absorvia parte da energia do vapor. Somente em 1896, o inventor norte-americano Charles Gordon

Curtis (1860-1953) patenteou a **turbina a vapor** com muitos conjuntos de rodas. É oportuno notar que Curtis, em 1899, patenteou a primeira **turbina a gás**.

Novas idéias sobre os MCI foram apresentadas a partir de 1885. Com efeito, logo em 1885, o engenheiro alemão Gottlieb Wilhelm Daimler (1834-1900) patenteou o primeiro MCI no qual usou vapor de gasolina em lugar de gás de carvão, cuja ignição, diferente da chama permanente como Otto fizera, em 1876, era feita com um sistema de **ignição elétrica**. Ao adaptar esse motor a uma bicicleta, Daimler inventou a primeira **motocicleta**. Por sua vez, em 26 de janeiro de 1886, o engenheiro alemão Karl Friedrich Benz (1844-1929) patenteou o primeiro **automóvel triciclo**, dotado de um MCI-Daimler. Mais tarde, em 1892, o engenheiro alemão Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913) patenteou o hoje famoso **ciclo Diesel**, no qual a temperatura e a pressão no cilindro de um **motor Otto** eram mantidas constantes durante a combustão; desse modo, muito mais calor era assim criado e que se transformava em energia. Um ano depois, em 1893, Diesel construiu o primeiro MCI usando o ciclo que havia idealizado, usando, no entanto, óleo pesado ao invés de gasolina. Ainda em 1893, Benz construiu o primeiro **automóvel tetraciclo**, dotado de um MCI-Otto-Daimler. Por fim, em 1913, o engenheiro norte-americano Henry Ford (1863-1947) introduziu a **montagem em linha de produção** em sua fábrica de automóveis, movidos por MCI.

É oportuno destacar que os famosos irmãos norte-americanos Wright [Orville (1871-1948) e Wilbur (1867-1912)] construíram um MCI, com quatro cilindros em linha, tendo como combustível a gasolina, e usaram-no em seus primeiros voos aéreos, em 1903. Também é oportuno destacar que os irmãos Wright, em suas primeiras pesquisas sobre o avião, observavam como os pássaros restabeleciam o equilíbrio no voo angulando uma asa para baixo e outra para cima. Aliás, foi também observando o voo de urubus, em Belém do Pará, muito antes, entre 1874 e 1880, que o poeta, jornalista e gramático, o primeiro físico experimental paraense Julio Cezar Ribeiro de Souza (1843-1887), descobriu a forma fusiforme ou assimétrica que um balão deveria ter para garantir sua navegabilidade [Julio Cezar Ribeiro de Souza, **Memórias sobre a Navegação Aérea** (EDUFPA/SEDEX, 2003)]. Para maiores detalhes das máquinas tratadas neste texto, ver: Alessandro Greco, **Da máquina a vapor aos carros de luxo** (*Scientific American: História* 4, p. 16); Philbin, op. cit.

Na conclusão deste verbete, é interessante destacar que a **fissão nuclear** descoberta em 1938 (vide verbete nesta série), substituiu o combustível (inicialmente sólido e depois líquido) para vaporizar a água nas **máquinas (usinas) térmicas**, resultando nas hoje conhecidas **usinas nucleares**.



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)