

Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX

Ricardo Dathein*

As Revoluções Industriais não podem ser explicadas somente pelas invenções ou descobertas de novas máquinas, fontes de energia, materiais ou métodos, por exemplo. No entanto, estes são fatores fundamentais no desenvolvimento da economia nos últimos dois séculos e meio. Antes já existiam máquinas, como as da imprensa e os moinhos hidráulicos. Contudo, a difusão das máquinas, chamada de maquinismo, caracteriza e diferencia este período em relação aos anteriores. O objetivo do presente texto, neste sentido, é apresentar as principais invenções e descobertas que, ao serem aplicadas à economia, geraram a Primeira e a Segunda Revoluções Industriais.

Nas Revoluções Industriais dos séculos XVIII e XIX ocorreu a ampliação da substituição da energia humana e animal pela inanimada, com eficiência multiplicada; a aceleração da troca da capacidade humana por instrumentos mecânicos; e a descoberta e/ou melhoria de métodos de obtenção e elaboração de matérias primas.

Vários fatores atuaram incentivando as inovações. Por exemplo, a importação de tecidos da Índia e da China pela Inglaterra demonstra uma influência do comércio sobre o desenvolvimento da indústria no último país, principalmente a partir do momento em que houve reserva de mercado e substituição de importações. Ao mesmo tempo, um importante mercado interno, com uma relativamente grande urbanização e mercantilização, estimulou a produção de bens de consumo de massa (como têxteis) na Inglaterra. Por outro lado, as mudanças que ocorriam foram induzindo, pelo aparecimento de necessidades práticas, novas inovações.

O primeiro exemplo de maquinismo é o da indústria têxtil do algodão na Inglaterra. Houve, na década de 1730, aperfeiçoamentos no tear de tecer, permitindo mais rapidez e a elaboração de peças mais largas. Este desenvolvimento levou a um desequilíbrio entre a elaboração dos fios e dos tecidos, ficando o primeiro relativamente lento. Desta forma, tornou-se necessário o desenvolvimento da máquina de fiar.

* Professor Adjunto da FCE/UFRGS. E-mail: ricardo.dathein@ufrgs.br

Em 1765 houve a invenção de uma máquina chamada "spinning-jenny", e em 1767 de outra chamada "water-frame" (datas prováveis), o que permitiu um grande avanço da fiação, com mais rapidez e qualidade. A "water-frame" foi aplicada em fábricas, utilizando energia hidráulica. Com isto a técnica passou a ter um caráter econômico, provocando um grande aumento de produtividade e queda de preços (Mantoux, 1928, p. 206-10).

A fábrica provocou uma grande concentração das atividades, que antes eram feitas de forma esparsa. Em 1780, por exemplo, já existia uma fábrica com 600 operários em Manchester (Mantoux, 1928, p. 240). No entanto, estas fábricas, dada sua dependência da energia hidráulica, ficaram instaladas na beira de rios que tivessem ou que permitissem a construção de quedas d'água.

Em 1779 houve uma nova melhoria na fiação, com a invenção de uma máquina chamada "mule". Estes desenvolvimentos levaram a que ocorressem dificuldades com a tecelagem, que ficou atrasada em relação à fiação. Mais uma vez as necessidades práticas provocaram o desenvolvimento da técnica, tendo sido inventado o tear mecânico em 1785. Em 1793 já havia fábricas com a nova máquina, porém, como os salários caíram muito, as máquinas manuais continuaram a ser usadas por longo tempo (Mantoux, 1928, p. 227-8, 234, 236-7).

Houve também, neste período, outros desenvolvimentos, como a invenção da estamperia (que antes era feita manualmente) e progressos na química, com processos de branqueamento e tintura.

Depois desta primeira etapa continuaram a ocorrer avanços sucessivos, apesar de não revolucionários, na indústria têxtil. O número de novas patentes, por exemplo, subiu de 39 entre 1800 e 1820 para 156 na década de 1840 na indústria do algodão (Hobsbawm, 1961, p. 58-9). Foi adotada a energia a vapor, mas como as exigências não eram grandes, até 1838 um quarto da energia ainda era de fonte hidráulica (Hobsbawm, 1968, p. 56). Ao mesmo tempo, o número de teares mecânicos na Inglaterra subiu de 2,4 mil em 1813 para 250 mil em 1850 (Landes, 1969a). Sucederam-se também, posteriormente aos primeiros desenvolvimentos da indústria têxtil do algodão, mudanças tecnológicas importantes na indústria de lã.

Inovações revolucionárias ocorreram também na indústria do ferro. Usava-se carvão de madeira para a elaboração do metal, o que tendia a gerar falta deste combustível dada a tendência à extinção das matas. Para o uso de carvão mineral existiam problemas técnicos. No entanto, isto foi resolvido e importantes progressos adicionais foram feitos com a fundição com coque¹ (início dos anos 1700), com os processos de pudragem (descarbonização) e laminação, permitindo maior qualidade e rapidez (década de 1780), com o uso do jato de ar quente (1829) e com o uso do

¹ Massa de carbono obtida pela destilação do carvão e usada como combustível para remover o oxigênio do minério de ferro, transformando-o em ferro metálico.

martelo a vapor (1839) (Hobsbawm, 1968, p. 66; Landes, 1969a). Estas inovações também poupavam combustível e metal, e permitiram o surgimento e o desenvolvimento da grande indústria do ferro.

Foram surgindo também desenvolvimentos no uso do ferro, como nas máquinas para forjar pregos e fabricar parafusos e na produção de vagões e trilhos para o transporte de carvão e minérios nas minas. Foi necessária também uma maior precisão nas máquinas, que passaram a ser usadas para fabricar outras máquinas. As obras de engenharia também principiaram a utilizar o ferro, tendo a primeira ponte deste metal sido construída em 1779. No ano de 1787 foi construído o primeiro barco de ferro, e em 1788 o metal foi utilizado na fabricação de condutos de água. A mais importante utilização do ferro nesta época, no entanto, foi na máquina a vapor, tendo permitido o surgimento desta energia. Dessa forma, a produção de ferro fundido na Grã-Bretanha passou de 68 mil toneladas em 1788 para 128 mil em 1796 e 250 mil em 1804 (Mantoux, 1928, p. 306-10).

No entanto, foi somente com a estrada-de-ferro que houve o maior avanço na indústria do ferro, tendo triplicado a produção de ferro e carvão entre 1830 e 1850 (Hobsbawm, 1968, p. 67). As transformações da indústria têxtil (de bens de consumo), decorrentes de invenções mecânicas, não estimulavam muito as indústrias de bens de capital (carvão, ferro e aço). As transformações na indústria metalúrgica mais a intensa urbanização foram os fatores que, ao contrário, estimularam fortemente o crescimento do setor de bens de capital.

Outro desenvolvimento fundamental foi o da máquina a vapor. A força motriz da água tornou-se insuficiente e tinha o inconveniente de impor a localização das indústrias. Inicialmente a máquina a vapor foi usada como bomba para extrair água das minas e para elevar a água para reservatórios, construindo-se, dessa forma, quedas d'água artificiais para gerar energia hidráulica. Este processo teve início em 1700, com vários melhoramentos posteriores.

Em 1764 James Watt inventou uma máquina a vapor com menores problemas de perda de energia em relação às bombas anteriores e que poderia também gerar movimento circular, além de ter também proposto posteriormente várias aplicações para sua máquina. Os progressos da metalurgia, por outro lado, permitiram a maior precisão que ela requeria. Watt e um empresário associado instalaram uma fábrica para produzir estas máquinas, onde elas próprias foram aplicadas como máquinas motrizes em 1781. Nesta mesma fábrica foi utilizado pela primeira vez, em 1798, o gás de carvão para iluminação. Antes, em 1775, a máquina a vapor já havia sido utilizada para acionar foles de alto-fornos. Em 1784 a energia do vapor foi utilizada como meio de tração, com a construção de um modelo de locomotiva movida a vapor. Dessa forma, criou-se uma máquina a vapor móvel em contraposição às anteriores, que eram fixas. Em 1785, por outro lado, uma fábrica têxtil usou plenamente a energia a vapor, tendo antes ocorrido o uso do vapor como força auxiliar

da máquina hidráulica. Outra aplicação importante foi em uma máquina para cunhar moedas com precisão e automaticamente, com a supressão quase total da mão-de-obra (Mantoux, 1928, cap. IV). Mais tarde, em 1844, foi inventada a turbina a vapor, gerando muito mais potência.

Dessa forma, as fábricas podiam finalmente sair dos vales às margens dos rios e aproximar-se dos mercados. A força do vapor passou a ser utilizada nas minas, nas tecelagens, na metalurgia e nos transportes, por exemplo.

A máquina a vapor exigia como fonte de energia o carvão, sendo que, ao mesmo tempo, possibilitou o aumento de produção e produtividade nas minas e no transporte. Dessa maneira, a produção mundial de carvão passou de 15 milhões de toneladas em 1800 para 132 milhões em 1860 e 701 milhões em 1900 (Cipolla, 1974, p. 54). O carvão foi utilizado para gerar calor, luz e potência para o transporte e a indústria, principalmente.

Na Grã-Bretanha a energia instalada proveniente do vapor era de 10 mil Cavalos-Vapor em 1800, tendo passado a 210 mil em 1815 e 1,29 milhão em 1850 (destes, 0,5 milhão eram fixos e 0,79 milhão eram móveis). Para o mundo, a capacidade das máquinas a vapor era de 1,7 milhão de CV em 1840, 4,0 milhões em 1850, 18,5 milhões em 1870 e 66,1 milhões em 1896 (Landes, 1969a).

Hobsbawm (1968, p. 65) observa que o carvão "inventou" a estrada-de-ferro, pois as minas utilizavam o transporte sobre trilhos. Primeiramente estes eram de madeira e os vagões eram puxados por cavalos. Em 1770 já havia trilhos de ferro privativos e em 1804 a energia do vapor foi aplicada em uma locomotiva, mas somente em 1825 começaram a ampliar-se os caminhos-de-ferro. Houve um grande *boom* de construção na Inglaterra entre 1830 e 1850. Para o mundo, o número de milhas construídas foi de 20 mil na década de 1840, 42 mil na década de 1850, 62 mil nos anos 1860 e 102 mil da década seguinte (Hobsbawm, 1968, p. 106).

Houve experimentos com barcos a vapor já em 1780, mas este foi propriamente inventado nos EUA entre 1807 e 1813. Primeiramente, foram utilizadas rodas de madeira como tração, sendo que somente em 1860 as hélices estabeleceram-se plenamente sobre as rodas, apesar de que aquelas já existiam desde 1836. Em 1821 foi utilizado o primeiro barco a vapor com casco de ferro, fazendo a viagem de Londres a Paris, via rio Sena (Henderson, 1969, p. 41). Na Grã-Bretanha, a construção de barcos a vapor foi de 3 mil toneladas por ano na década de 1830 e chegou a 81 mil em 1855. No entanto, neste ano, a construção de barcos a vela ainda foi de 810 mil toneladas, tendo somente na década de 1880 ocorrido a ultrapassagem da produção dos barcos a vapor sobre os a vela (Hobsbawm, 1968, p. 106).

A partir da última metade do século XIX pode-se dizer que houve uma Segunda Revolução Industrial. Enquanto a Primeira baseou-se na energia a vapor do carvão e no ferro, a

Segunda baseou-se na eletricidade e no aço, ocorrendo importantes desenvolvimentos na química, nas comunicações e com o uso do petróleo. Estas inovações, de início e em geral, não substituíram plenamente as antigas, tendo somente começado a se destacar, enquanto sua plena realização ocorreu apenas no século XX.

A Segunda Revolução Industrial possui várias características que a diferenciam da Primeira. Uma delas foi o papel assumido pela ciência e pelos laboratórios de pesquisa, com desenvolvimentos aplicados à indústria elétrica e química, por exemplo. Surgiu também uma produção em massa de bens padronizados e a organização ou administração científica do trabalho, além de processos automatizados e a correia transportadora. Concomitantemente, criou-se um mercado de massas, principalmente e em primeiro lugar nos EUA, com ganhos de produtividade sendo repassados aos salários. Por fim, houve um grande aumento de escala das empresas, via processos de concentração e centralização de capital, gerando uma economia amplamente oligopolizada (Hobsbawm, 1968, p. 160-5).

Um novo material, o aço, desenvolveu-se no século XIX e assumiu papel fundamental na indústria. Para a sua produção, em 1856 houve a invenção do conversor Bessemer, que poupava trabalho e material e era mais rápido, enquanto na década de 1860 houve o desenvolvimento da fornalha tipo Siemens-Martin, que utilizava temperaturas mais altas e poupava combustível e na década de 1870 foi inventado o aço básico, de menor custo. Estas inovações causaram uma queda de preço de cerca de 80% a 90% entre 1860 e 1895, levando a uma intensa substituição do ferro pelo aço nas ferrovias, na construção naval e nos armamentos, por exemplo (Landes, 1969a), o que gerou um grande crescimento na produção do aço. Na Grã-Bretanha, por exemplo, a produção passou de 49 mil toneladas em 1850 para 1,44 milhão em 1880. Por outro lado, foram introduzidos vários novos elementos na metalurgia, como o tungstênio, o manganês, o cromo e o níquel (Hobsbawm, 1968, p. 107 e 163).

A química não havia assumido papel de destaque até então, tendo havido desenvolvimentos, por exemplo, para atender às necessidades da indústria têxtil. No entanto, na segunda metade do século XIX houve importantes descobertas que formaram as bases das indústrias de plásticos e farmacêutica, e também permitiram grandes desenvolvimentos das indústrias de adubos, tinturas, explosivos, papel, cimento, placas fotográficas e fibras artificiais, por exemplo. Uma característica importante do desenvolvimento da química foi o intenso uso da ciência e de laboratórios onde trabalhavam cientistas profissionais. Os departamentos de química de universidades passaram a colaborar com indústrias, como com a Bayer, da Alemanha.

O desenvolvimento da eletricidade, por outro lado, mudou radicalmente não só a economia, as indústrias, mas a vida cotidiana de toda a população. Esta energia possui muitas

vantagens, como a transmissibilidade, sem perda de muita energia, e a flexibilidade, podendo ser facilmente convertida em movimento, luz, calor e som. A energia a vapor exige que os geradores estejam situados na própria fábrica, e mesmo dentro desta a transmissão consome muita energia. A energia elétrica permitiu que os motores fossem acoplados aos instrumentos, diminuindo o uso de eixos e correias de transmissão. A facilidade de transmissão deu à energia elétrica um caráter onipresente e colocou-a ao alcance de uma parcela muito mais ampla da população, dado seu baixo custo. Facilitou também o desenvolvimento de pequenas indústrias, que podiam agora utilizar a mesma fonte geradora de energia das grandes e pagar de acordo com o seu consumo.

As descobertas no âmbito da eletricidade atravessaram o século XIX. Em 1800 houve o desenvolvimento da bateria química de Volta, em 1820 foi descoberto o eletromagnetismo e em 1831, a indução eletromagnética. Em 1832, Faraday desenvolveu o dínamo, que permite converter energia mecânica em elétrica. No entanto, somente nas décadas de 1860 e 1870 desenvolveram-se geradores práticos para utilização comercial. Os dínamos foram acoplados a máquinas a vapor, rodas hidráulicas ou turbinas, o que tornaria possível o uso da eletricidade como energia para a indústria, a iluminação e o transporte. Em 1878/79 Edison inventou a lâmpada de filamento e em 1880 foi desenvolvida a tração elétrica, permitindo a criação do trem elétrico e a construção, por exemplo, dos metrô de Londres, Budapeste e Boston na década de 1890. Na década de 1880 foram desenvolvidos também alternadores, transformadores e novos motores elétricos, e logo após foram fabricados cabos para transmissão a longa distância, isolantes e medidores, por exemplo (Landes, 1969a; Henderson, 1969, p. 57). Dessa forma, surgiu uma nova indústria, a indústria elétrica, de material, geração e distribuição.

A primeira utilização da energia elétrica foi nas comunicações, porém foi seu uso na iluminação que precipitou a produção de eletricidade em grande escala. No entanto, este uso logo foi ultrapassado em volume pela utilização de eletricidade nos transportes (trem elétrico), na indústria eletroquímica e na metalurgia (fornos elétricos).

A grande demanda, diversificada e dispersa, exigiu a produção e distribuição centralizada, com a vantagem da economia de escala. Em 1881 surgiu a primeira central pública de energia na Inglaterra. Em 1885 foi transmitida eletricidade, de forma experimental, de 56 km até Paris, e em 1891 de 179 km até Frankfurt (Landes, 1969a). Primeiramente foram construídas plantas de geração via carvão, mas depois os saltos d'água voltaram a recuperar seu papel: em 1895 entrou em funcionamento a primeira grande hidroelétrica, nas cataratas de Niágara (Cipolla, 1974, p. 53).

O desenvolvimento da energia elétrica levou também a grandes progressos nas comunicações. O telégrafo eletromagnético desenvolveu-se em 1837/38, pondo pela primeira vez

em uso a eletricidade, e tendo a organização do tráfego de trens como primeira utilização importante. Em 1851 foi inaugurado o primeiro cabo submarino de comunicações (Canal da Mancha), e em 1866 foi inaugurado o cabo entre a Inglaterra e os Estados Unidos. O telefone foi desenvolvido em 1876 e o telégrafo sem fio em 1895. As ondas de rádio, por outro lado, foram descobertas em 1883 (Landes, 1969a).

Por fim, surgiu uma nova e revolucionária fonte de energia: o petróleo. Na década de 1850 James Young, químico escocês, desenvolveu as bases para a refinação do petróleo. Em 1859 já havia extração de petróleo a 210 metros de profundidade nos EUA. De outra parte, surgiram os motores a combustão interna. Em 1860 o engenheiro francês Lenoir patenteou o motor a gasolina, tendo surgido também motores a gás. Em 1876 N. Otto desenvolveu o motor a quatro tempos, e em 1885 Daimler e Benz criaram o automóvel, tendo sido o primeiro carro popular construído em 1894. Estes motores também foram utilizados em barcos nesta época (Cipolla, 1974, p. 52).

O uso do petróleo apresenta inúmeras vantagens sobre o carvão, como o fato de que produz duas vezes mais trabalho por unidade de peso e ocupa a metade do espaço. Isto, no caso de navios, por exemplo, permite economia de espaço e mão-de-obra, resultando em maior capacidade de carga. Além disto, o petróleo permite alimentação mecânica e limpa, com controle automático. O custo do carvão ainda era menor, mas o petróleo barateou rapidamente com o uso de novas técnicas de refino e de transporte e com descobertas de novos poços (Landes, 1969a). Em 1859 a produção foi de 2 mil barris e em 1874 já havia chegado a 11 milhões de barris (Hobsbawm, 1977, p. 73). Dessa forma, a substituição do carvão pelo petróleo ocorreu primeiramente nas marinhas, enquanto nas ferrovias e na indústria ocorreu mais lentamente.

Os motores elétrico e de combustão interna tendiam a deslocar o motor a vapor. Entretanto, o fato é que este manteve sua hegemonia por muito tempo, uma vez que o carvão continuou com baixo preço, e o tipo de energia utilizada depende das disponibilidades de cada país em termos de reservas de carvão e capacidade hidroelétrica, por exemplo.

A produção mundial de energia inanimada passou de 1,1 bilhão de Megawatts-hora em 1860 para 6,1 bilhões em 1900, 20,6 bilhões em 1950, 33,5 bilhões em 1960 e 53,2 bilhões em 1970, tendo crescido neste período de 110 anos a uma taxa média anual de 3,6%, bem maior que o crescimento da população, que foi em média de 0,9% ao ano entre 1850 e 1970. Em 1860, cerca de 98% desta energia provinha do carvão; em 1900 este total era de 92%; em 1950, de 57%; e em 1960, de 43%, contra 33% proveniente do petróleo. Somente na década de 1960 é que a energia do petróleo superou a proveniente do carvão: em 1970, tem-se que 27% da energia proveio do carvão, 46% do petróleo, 21% do gás natural e apenas 2% de fonte hidroelétrica (Cipolla, 1974, p. 54).

Estas novas fontes de energia, novos materiais e novos processos tecnológicos formaram a base técnica que, juntamente com as mudanças nos processos de trabalho e com o surgimento da grande empresa oligopolista, moldaram a indústria e a civilização do século XX.

Bibliografia:

CIPOLLA, Carlo M. (1974). **História Econômica da População Mundial**. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

HENDERSON, William O. (1969). **A Revolução Industrial: 1780-1914**. São Paulo: Verbo e Ed. da USP, 1979.

HOBBSBAWM, Eric J. (1961). **A Era das Revoluções: 1789-1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2000.

HOBBSBAWM, Eric J. (1968). **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo**. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1983.

HOBBSBAWM, Eric J. (1977). **A Era do Capital: 1848-1875**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

HOBBSBAWM, Eric J. (1986). **A Era dos Impérios: 1875-1914**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1988.

LANDES, David S. (1969a). **Progreso Tecnológico y Revolucion Industrial**. Madrid: Editorial Tecnos, 1979.

LANDES, David S. (1969b). **Prometeu Desacorrentado**: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, desde 1750 até a nossa época. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

MANTOUX, Paul (1928). **A Revolução Industrial no Século XVIII**. São Paulo: HUCITEC, sd.

MARX, Karl (1867). **O Capital**. São Paulo: Abril Cultural, 1983/4. Volume I.