

Novas Tecnologias ... não tão novas!

Nilson Marcos Dias Garcia

A sensação que experimentamos quando nos deparamos com máquinas ou equipamentos que praticamente fazem tudo sozinhas, quase sempre é de espanto e incredulidade. Por vezes, ficamos nos questionando como é possível um dispositivo realizar tantas operações com tal rapidez e precisão. Boa parte das vezes, também, nosso espanto com essas máquinas – diga-se de passagem com relação àquelas que ainda não foram incorporadas ao nosso cotidiano – cessa quando cessa o impacto de conhecê-la.

A mesma sensação de espanto também sentimos com aquelas máquinas que, tais quais robôs, realizam operações repetitivas seguindo uma ordem previamente definida e que, com suas operações parceladas – similares às de um operário numa linha de montagem – contribuem para a construção ou montagem de um equipamento.

Usualmente, quando nos interessamos em saber como essas máquinas funcionam, além de algumas informações de caráter técnico mais geral, somos também informados que seu funcionamento está fortemente amparado na incorporação de novas tecnologias em sua produção.

E, como num passe de mágica, a explicação é suficiente para nos satisfazermos e assumirmos que aquela máquina, pequena ou grande, ruidosa ou silenciosa, guarda, ocultos em sua estrutura, procedimentos e lógicas que não só obscurecem o nosso entendimento, como servem para justificar nosso alheamento à realidade do seu funcionamento.

Mas, o que há, de fato, por detrás das chamadas novas tecnologias? Que contribuições receberam da ciência para a sua constituição? O quanto elas são de fato novas? Como surgiram? Porque recebem esse nome?

Na tentativa de discutir essas questões, procuramos investigar algumas das raízes das tecnologias, e para não nos distanciarmos demais dos nossos dias, centramos nossa atenção inicial no Renascimento, período de grande produção de conhecimento ligado ao aprimoramento do pensar científico engendrado por Galileu e sua contemporaneidade,

aprimoramento este que teve sua culminância na obra de Newton, sintetizador dos princípios do que hoje denominamos de Mecânica Clássica.

Esse movimento, de grande significado também para o entendimento da natureza e que encerrou o domínio da Escolástica (Langevin, 1992), compreendeu um grande número de contribuições científicas e tecnológicas que acabaram por propiciar o que foi chamado de Revolução Científica.

Deve-se considerar, contudo, que tanto esse desenvolvimento científico quanto o tecnológico não aconteceram independentemente dos processos políticos e econômicos que marcaram a época. Para Hessen (1992 : 33), *"os resultados brilhantes das ciências naturais nos séculos XVI e XVII foram determinados pela desintegração da economia feudal, pelo desenvolvimento do capital mercantil, das relações marítimas internacionais e da indústria pesada (mineração)"*.

Apoiando-nos ainda no texto de Hessen (1992 : 35 a 44) apresentamos um resumo dos problemas enfrentados à época, aos quais se procurava solução.

Relativamente ao transporte por água, buscava-se:

- ?? aumento da capacidade de carga e da velocidade dos navios;
- ?? melhoria das qualidades náuticas dos barcos e sua segurança em mar aberto;
- ?? meios convenientes e seguros de determinar a posição em alto mar, e
- ?? aperfeiçoamento do sistema fluvial interior e suas ligações com o mar e a construção de canais e eclusas.
- ?? A indústria da mineração, por sua vez, enfrentava dificuldades com:
 - ?? a elevação do minério de profundidades consideráveis para a superfície;
 - ?? os meios para a ventilação das minas;
 - ?? bombeamento e os equipamentos para a condução da água, o problema da bomba d'água;
 - ?? a substituição da produção de ferro com o emprego de foles de ar úmido, predominante até o século XV, pelos altos fornos, que exigem ar insuflado, e
 - ?? a preparação do minério com a ajuda de bateria de pilões acionados por veios de ressaltos e de trituradores.

Na esfera da indústria da guerra e militar as questões diziam respeito:

- ?? ao estudo e aperfeiçoamento dos processos que ocorrem em uma arma de fogo durante o disparo;
- ?? à solidez da arma combinada com o menor peso possível;
- ?? a métodos cômodos e precisos para garantir a pontaria;
- ?? à trajetória do projétil no vácuo;
- ?? à trajetória do projétil no ar;
- ?? à dependência do alcance em função da resistência do ar e da velocidade do projétil, e
- ?? ao desvio do projétil da trajetória calculada.

As soluções a esses problemas, entretanto, foram sendo construídas sem que houvesse um desenvolvimento científico que os estimulasse (Motoyama, 1995 : 40), pois problemas de engenharia, de construção de equipamentos e máquinas desse período e anteriormente a ele, eram resolvidos muito mais a partir do conhecimento acumulado por artesãos e técnicos do que como resultado de aplicações de princípios científicos.

Entretanto, apesar desse distanciamento, a temática principal das questões da física discutidas durante o período no qual o capital mercantil estava se tornando a força econômica predominante e a manufatura começando a se desenvolver, contou com a participação de uma série de pessoas que hoje reconhecemos como cientistas, tais como Leonardo da Vinci, Stevin, Galileu, Torricelli, Pascal, Boyle, Halley, Hooke, entre outros, que elaboraram, durante os séculos XVI e XVII, estudos que contribuíram para que fosse possível a sistematização do conhecimento sobre a natureza até então conhecido e possibilitasse a organização da Mecânica, trabalho realizado por Newton. Basicamente, as questões para as quais foram propostas justificativas teóricas ou para as quais elas estavam sendo buscadas diziam respeito:

- ?? às máquinas simples, ao plano inclinado e a problemas gerais de Estática;
- ?? à queda livre dos corpos e à trajetória dos corpos lançados;
- ?? às leis da hidrostática e aerostática e da pressão atmosférica, à bomba de ar e ao movimento dos corpos em um meio resistente, e
- ?? aos problemas relativos à mecânica celeste e à teoria das marés.

Ainda, segundo Hessen (1992 : 43), a produção científica que estava sendo elaborada, estabelecia na época, uma estreita vinculação com as demandas comerciais e econômicas do momento, o que o levou a escrever que:

"Os problemas acima mencionados abarcam quase toda a temática da física daquela época. Se compararmos esta série básica de temas com os problemas físicos que encontramos ao analisar as demandas técnicas de transporte, vias de comunicação, indústria e guerra, fica bastante evidente que a temática fundamental da física estava determinada por estas demandas."

Essa idéia é também corroborada por Landes (1994 : 69), para quem "o aumento dos conhecimentos científicos decorreu muito das preocupações e das conquistas da tecnologia, tendo havido um fluxo muito menor de idéias ou métodos no sentido inverso; e continuaria a ser assim pelo século XIX afora".

É interessante registrar também, que muito do conhecimento considerado necessário para o desenvolvimento do comércio e da indústria nascentes estava se desenvolvendo fora das universidades, depositárias da ciência oficial, que, além de não colaborarem na solução das tarefas propostas por aquelas forças produtivas, ainda se opunham ao desenvolvimento das ciências naturais (Hessen, 1992: 44). Em função disso, os filósofos naturais, denominação dos cientistas da época, passaram a fundar e a se organizar em torno de instituições científicas, tais como a Royal Society (1662) e a Academie des Sciences (1666), possibilitando que as soluções propostas a essas questões, analisadas sob a ótica de um pensamento científico que estava sendo organizado e que daria origem ao método científico, permitissem chegar aos princípios que as solucionavam, contribuindo assim para a constituição de um corpo de conhecimento teórico que iria convergir para a sistematização da Mecânica, em particular e, de uma maneira mais geral, para a caracterização da denominada Revolução Científica.

Além dessas questões que abordamos, ligadas mais diretamente à produção e ao comércio, julgamos também interessante registrar duas outras contribuições dessa época que têm suas origens na técnica e na tecnologia, mas que exerceram significativa influência na organização das sociedades. Trata-se dos relógios mecânicos e dos tipos móveis de impressão.

Movidos por intrincados mecanismos, os relógios passaram a ser ostentados no campanários das igrejas, e nos mosteiros o tempo passou a

ser controlado, principalmente visando a divisão de tarefas. De acordo com Mumford, citado em Motoyama (1995 : 28),

“... isso mudou os hábitos do homem medieval, pela imposição de um tempo artificial, em lugar daquele biológico e natural. Essa dessacralização do tempo levaria à laicização do espaço, livrando-o de forças mágicas ou anímicas. Dessa forma, estabelecer-se-iam as condições para a instalação do mundo-máquina, com suas engrenagens e peças, reguladas harmonicamente por forças mecânicas. Dentro dessa argumentação, o relógio dos mosteiros teve papel mais importante que as máquinas a vapor para a mecanização, portanto, para o advento da modernidade. De qualquer maneira, esta só poderia se concretizar quando as poderosas forças sociais representadas pela burguesia nascente fossem capazes de impor o seu padrão, dentro do processo histórico em marcha.”

A invenção dos tipos móveis de impressão por Gutenberg (1390-1468), que já havia sido ensaiada pelos chineses, responsáveis também pela invenção e aperfeiçoamento do papel, por sua vez, facilitou sobremaneira a difusão de idéias, principalmente quando estas passaram a ser escritas no vernáculo e não em latim, língua culta, porém entendida apenas por uma pequena parcela da sociedade, como era o costume na época.

Esses fatos, aliados a tantos outros decorrentes das necessidades advindas do capitalismo comercial que se consolidou no final da Idade Média e caracterizou a Idade Moderna, tiveram grande responsabilidade pelas inúmeras transformações tecnológicas, econômicas e sociais, que acabaram por resultar no surgimento de diversas indústrias e também na difusão do capitalismo industrial que estava a se instalar e que originaria a Revolução Industrial.

Normalmente, quando se faz menção à essa Revolução, as primeiras idéias que vêm à nossa mente relacionam-se ao surgimento da máquina a vapor de Watt e ao impulso que ela deu à indústria têxtil da Inglaterra e também às transformações a que foram levadas as relações sociais na época.

Entretanto, para evitarmos que a essa máquina, por si só, seja atribuída a responsabilidade das significativas mudanças pelas quais a sociedade passou, devem também ser levantadas outras questões, não só quanto aos antecedentes científicos e tecnológicos que contribuíram para o surgimento das indústrias e às relações de sua produção com o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, mas também a outros aspectos de caráter social e econômico.

Analisando a situação, podemos dizer que o universo têxtil da época estava sendo "invadido" por um sem número de "novas tecnologias", não de base microeletrônica, como as de hoje, mas de base mecânica, que o transformaram e possibilitaram a produção em larga escala.

Dentre essas inovações, podem ser destacadas a lançadeira volante de John Kay, em 1731; a máquina de fiar "Jenny", de James Hargreaves, que substituiu a roca, em 1764; a máquina de fiar movida a água, de Richard Arkwright, em 1769 e o tear mecânico, de Edmund Cartwright.

Para que não se cometa o equívoco de estabelecer uma dependência direta entre a mecanização da indústria têxtil e a máquina a vapor, é conveniente registrar que esta indústria já estava suficientemente desenvolvida quando a máquina a vapor de Watt foi aperfeiçoada. A essa indústria faltava, entretanto, a substituição da tração animal ou hidráulica por outra forma de movimentação das máquinas.

Máquinas a vapor, por sua vez, já eram utilizadas na mineração desde o final do século XVII, na substituição de tração animal para elevação de água de minas profundas. Eram extremamente ineficientes e praticamente usadas apenas onde o carvão era barato ou onde condições impediam o uso de outras técnicas. A possibilidade de se desenvolver uma outra forma de tração que não fosse animal e que não estivesse sujeita a variações imprevisíveis, tais como a hidráulica ou a eólica, fez com que se procurasse aperfeiçoá-las para aumentar sua eficiência e viabilizá-las economicamente. Assim, nas palavras de Landes (1994 : 105):

"... o leitmotif da tecnologia do vapor era o esforço para aumentar a eficiência, isto é, o volume de trabalho executado por insumo de energia. A título de comparação, a meta de aumentar a capacidade, ou seja, o trabalho executado por unidade de tempo, ficava em segundo lugar, embora os dois objetivos estivessem ligados, de modo que aquilo que contribuía para um permitisse ou produzisse o outro".

Dessa forma, apoiadas no estudo detalhado dos processos físicos envolvidos, a aplicação de diversas melhorias de caráter técnico e de engenharia, descritas com detalhes por Landes (1994 : 102 a 109) e Mantoux (sd. : 311 a 323), resultaram em sucessivos aumentos de eficiência e a transformaram, gradativamente, numa máquina motriz universal.

Assim, depois de diversos estudos a respeito das propriedades termodinâmicas do vapor, James Watt (1736-1819) aperfeiçoou e produziu

a máquina a vapor de movimentos circulatorios, que passou a ser empregada como força motriz em vários processos industriais, devendo ficar claro que, para esse desenvolvimento, ele pode contar com o significativo crescimento que estava também acontecendo com a indústria do aço e com as tecnologias associadas à fundição e às moldagens, além da contribuição de diversos trabalhos de pesquisa, principalmente dos laboratórios de Glasgow.

A associação da prática à teoria e desta à prática, verificada no desenvolvimento da máquina a vapor, suscita uma observação feita por Landes (1994 : 109) a respeito das ligações existentes entre ciência e tecnologia na época, Assim ele se expressa:

"Afirma-se com freqüência que a máquina de Newcomen e suas precursoras teriam sido impensáveis sem as idéias teóricas de Boyle, Torricelli e outros; e que Watt extraiu grande parte de sua competência e imaginação técnicas de seu trabalho com cientistas e instrumentos científicos em Glasgow. Há, sem dúvida, alguma verdade nisso, embora seja impossível dizer quanta. Uma coisa é certa, porém: uma vez estabelecido o princípio do condensador separado, os avanços subseqüentes deveram pouco ou nada à teoria. Ao contrário, um ramo inteiro da física, a termodinâmica, desenvolveu-se, em parte, como resultado das observações empíricas dos métodos e do desempenho da engenharia. Tampouco foi por acidente que esse trabalho teórico iniciou-se na França, onde uma escola como a Polytechnique esforçava-se, explicitamente, para enquadrar a técnica em generalizações matemáticas. Mas nada disso impediu a Inglaterra de continuar a liderar o mundo na prática e nas invenções da engenharia."

Outro ramo da ciência que estabeleceu uma estreita ligação com a tecnologia foi a química. Nesse período a liderança na química e suas aplicações industriais era exercida pela França, principalmente pela necessidade de abastecimento do mercado interno devido às guerras napoleônicas. Químicos de diversos países para lá se deslocavam para estudar, merecendo destaque, nesse particular, os alemães, que ao retornarem para seu país de origem, encontraram uma situação de formação científica e tecnológica favorável, o que acabaria por diferenciá-los na segunda metade do século XIX. Sobre essa particularidade alemã, ainda é Landes (1994 : 194) quem comenta:

"Contudo, se a indústria química alemã era fraca em termos de produção em meados do século, ela contava com um importante patrimônio tecnológico. Era mais científica que a das outras nações, a ponto do que poderia afigurar-se, superficialmente, uma ineficiência econômica. A firma alemã típica suplantava as dos outros países continentais em termos da diversidade de

produção; os maiores produtores de ácido sulfúrico e soda também fabricavam os mais raros produtos farmacêuticos, alcalóides e ácidos orgânicos. Os especialistas atribuíam essa versatilidade à habilidade e à formação dos jovens técnicos - não os savants (sábios), mas os homens da produção."

Sobre o mesmo assunto, porém tomando como referência o desenvolvimento de uma cadeia de utilização de subprodutos de um processo industrial em outro, que os químicos alemães conseguiram estabelecer, o que denota um significativo estágio na produção química, Braverman (1977 : 142) assim se expressa:

“Os primeiros esforços dos químicos tinham sido tão-somente para desfazerem-se do alcatrão do carvão destilando-o, mas desde que ele destilava-se em estágios e a temperaturas diferentes, o resultado foi uma variedade de alcatrões que podia, pelo processamento químico, fazer surgirem substâncias úteis. Perkin, em 1856 (com a idade de dezoito anos) extraiu seu primeiro corante sintético verdadeiro da anilina, derivado do alcatrão do carvão; ele podia tingir tecidos e manter sua cor contra lavagem, tempo e luz solar. A importância desse descobrimento foi a junção que estabeleceu entre a velha indústria têxtil e a nova indústria do aço, que produzia alcatrão de carvão como subproduto da utilização do carvão, na redução do ferro.”

As indústrias inglesas, entretanto, apesar de sua grande produção têxtil, não acompanharam essas evoluções da química. Para atender às suas necessidades, elas *“importavam corantes de toda parte: anil do Extremo Oriente, vermelho alizarino da raiz de garança, escarlates de soluções de cochinelha e zinco”* (Braverman, 1977 : 142).

Corria então o século XIX e a Alemanha, ao estimular seus professores e pesquisadores a desenvolverem o pensamento reflexivo e a pesquisa científica básica, assumiu a primazia da ciência européia, fato que teria reflexos imediatos na indústria química e posteriormente na Segunda Revolução Industrial que se aproximava.

Nesse momento é interessante retomar algumas questões, principalmente no que se refere ao papel e participação da ciência nesse processo de Revolução Industrial.

A ciência nesse período estava começando a se organizar e a ser sistematizada. Os “Principia”³⁰ de Newton, que ordenavam os conhecimentos da filosofia natural até aquela época conhecidos e

³⁰ Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, de sir Isaac Newton, considerado por alguns como o primeiro livro de Física Teórica, no sentido moderno do conceito.

organizavam a chamada Mecânica Clássica, foram publicados em 1686. Ou seja, a Mecânica Clássica, base para o desenvolvimento científico a partir dessa data, era muito incipiente e não exibia, ainda, reflexos significativos nas tecnologias incorporadas às máquinas que estavam sendo criadas.

Sobre a participação, contribuição e responsabilidade dessa ciência no desenvolvimento tecnológico vinculado à Revolução Industrial, de acordo com Motoyama (1995 : 40), há muita controvérsia. Para ele,

“A despeito de alguns analistas do episódio assinalarem com ênfase a não participação da ciência na Revolução Industrial, é bom frisar, essa não contribuição se refere tão-somente à ação científica direta. Indiretamente, a ciência teve uma presença marcante. Sobretudo, através do método e do espírito científico presentes no meio técnico e artesanal.”

Braverman (1977 : 138), no mesmo sentido expõe que:

“A época do avanço científico durante os séculos XVI e XVII ofereceu algumas das condições para a Revolução Industrial, mas a conexão era indireta, geral e difusa – não apenas porque a ciência não estava ainda estruturada diretamente pelo capitalismo nem dominada pelas instituições capitalistas, mas também devido ao importante fato histórico de que a técnica desenvolveu-se antes e como um requisito prévio para a ciência. Assim, em contraste com a prática moderna, a ciência não tomou sistematicamente a dianteira da indústria, mas freqüentemente ficou para trás das artes industriais e surgiu delas. Em vez de formular significativamente novos enfoques das condições naturais de modo a tornar possíveis novas técnicas, a ciência, em seus inícios sob o capitalismo, no mais das vezes formulou suas generalizações lado a lado com o desenvolvimento tecnológico ou em consequência dele.

Entretanto, para Mantoux (s/d : 311), pelo menos no tocante à ligação entre a ciência e a máquina a vapor é evidente, pois, para ele, *“no caso da máquina a vapor, a ciência aparece: ao período empírico da revolução industrial sucedeu o período científico”*.

Outros aspectos dessa questão que merecem atenção, dizem respeito às relações que a ciência estabelece com o capitalismo e às influências que as novas tecnologias exercem sobre a organização da produção e sobre os trabalhadores.

Temos que considerar que, ocorrendo a organização e sistematização da ciência praticamente no mesmo período em que está acontecendo a transição entre o feudalismo medieval e o capitalismo

industrial, este dela não se apropria de imediato. Essa apropriação irá acontecer aos poucos, ensejando, porém, ao final do século XIX, uma tal articulação que propiciará a revolução Técnico-Científica, cuja repercussão ainda hoje experimentamos. Originalmente considerada como uma propriedade social, no decorrer da Revolução Industrial, a ciência se converte, de acordo com Braverman (1977 : 138), em auxiliar do capital:

“A princípio a ciência nada custa ao capitalista, visto que ele tão-somente explora o conhecimento acumulado das ciências físicas, mas depois o capitalista organiza sistematicamente e ornamenta a ciência, custeando a educação científica, a pesquisa, os laboratórios, etc. com o imenso excedente do produto social que ou pertence diretamente a ele ou que o capitalista dispõe como um domínio total na forma de rendas de tributos. Um esforço antigamente relativamente livre é integrado na produção e no mercado.”

Por outro lado, não poderíamos deixar de tecer considerações a respeito do impacto que as “novas tecnologias” do início do século XIX causaram sobre os trabalhadores. Em substituição ao feudalismo que se extinguiu, a nova relação estabelecida nos séculos XVII e XVIII pelo nascente capitalismo, entre quem detinha o dinheiro e os meios de produção e entre quem possuía apenas a força de trabalho, sofreu uma grande transformação com o advento das máquinas que incorporaram um sem número de inovações tecnológicas de base mecânica. Se antes os trabalhadores vendiam apenas a sua força física, agora, a habilidade passava também a incorporar a força de trabalho.

Além disso, a essas inovações, que aumentaram a produção e garantiram uma padronização dos produtos, foi acrescentada uma nova forma mais eficiente de tração, que provocou um agravamento no espaço ocupado pelos trabalhadores nas fábricas, gerando um cruel impacto na grande massa da população da Inglaterra da época, de tal forma que a elas só restava atribuir a responsabilidade pela miséria e pelo desemprego à mecanização das indústrias têxteis.

Entretanto, a partir da industrialização crescente desse período, conforme já dissemos, a relação da ciência com a indústria e também com o capital adquiriu novos contornos, e um sem número de laboratórios de pesquisas, ligados à indústria ou às universidades, passaram a desenvolver pesquisa básica ou aplicada que seriam aproveitadas como elementos teóricos para a continuidade do desenvolvimento industrial.

Essa foi, de maneira simplificada e sob o aspecto dos maquinários e das tecnologias utilizadas, uma das origens das diferenças entre a

Revolução Industrial e a Segunda Revolução Industrial. Se na primeira o desenvolvimento tecnológico aconteceu levado mais pelos resultados práticos das oficinas do que pelas pesquisas de laboratórios, para a Segunda foi relevante a produção universitária e acadêmica, assim como dos laboratórios de pesquisa industriais.

Um dos ramos da ciência que contribuiu significativamente para esse desenvolvimento foi o da eletricidade, que começou a se organizar a partir da descoberta da corrente elétrica e da construção de uma bateria elétrica por Alessandro Volta, em 1800, que por sua vez havia se baseado em experimentos realizados em 1786 por Luigi Galvani. Além de mostrar exemplarmente como a relação entre teoria e a prática mudou de sentido, é também significativa, nesse caso, a rapidez com que descobertas realizadas no campo da Física se transformaram em aparatos tecnológicos e provocaram modificações em alguns aspectos da produção industrial.

Entre a descoberta da corrente elétrica e das baterias elétricas por Volta, em 1800, e a produção comercial de motores elétricos, passaram-se apenas 70 anos. Entretanto, para chegar até isso, foi necessário percorrer um caminho de que passou pela interpretação da experiência bem sucedida de Oersted, na qual demonstrou a existência de relação entre a eletricidade e o magnetismo, em 1820 e a descoberta da indução eletromagnética por Faraday, em 1831 (Bassalo, 1996), fundamental para o entendimento das questões teóricas que seriam utilizadas para o desenvolvimento dos geradores e motores elétricos.

Estas inovações advindas da pesquisa científica traduziram-se, na prática, pela possibilidade de serem criados novos meios de tração, que vão ser responsáveis, em parte, pela diferença entre a primeira Revolução Industrial, que teve sua base na mecânica, e a Segunda Revolução Industrial, que teve sua base na eletromecânica. Na primeira Revolução Industrial, a força de tração das máquinas se baseava na força emanada das caldeiras das máquinas térmicas, ao passo que na segunda Revolução, a tração passou a se apoiar fortemente nos motores elétricos.

Essa situação caracterizou uma vantagem tecnológica e econômica significativa, pois ao contrário da tração pela máquina a vapor, de grandes dimensões (para poder desenvolver grandes potências) e que transmitia esse movimento por meio de um sem número de correias e rodas de transmissão, os motores elétricos, bem menores, poderiam ser acoplados a apenas uma ou a um conjunto menor de máquinas. Ao contrário da tração a vapor, em que um grupo de máquinas estaria na dependência de um mesmo motor, na tração a eletricidade cada máquina poderia ser uma unidade autônoma, independente das demais. Poderia também, ser ligada e desligada na medida da necessidade (Landes, 1994). Além disso, outro

fator a ser considerado era o rendimento dos motores elétricos, significativamente maior que o das máquinas a vapor³¹.

Além da movimentação de máquinas na indústria através de motores elétricos, aliás um dos seus últimos aproveitamentos comerciais, a eletricidade provocou o desenvolvimento de equipamentos de produção e distribuição de energia elétrica; começou a ser utilizada como energia para a tração de bondes, trens e metrô, e aplicada na eletroquímica pesada e na eletrometalurgia (Landes, 1994).

Ademais, o desenvolvimento científico e tecnológico associado à eletricidade, que aconteceu de maneira mais acentuada a partir da metade do século passado, permitiu ou fez com que outros campos científicos fossem aprofundados e definidos. Avançaram significativamente também a partir da participação de pesquisas e influenciaram a indústria do aço, a do petróleo e a do motor a explosão, deixando claro, agora, que o desenvolvimento não mais poderia acontecer de maneira empírica e essencialmente experimental como anteriormente.

Por outro lado, de acordo com Braverman (1977 : 140),

“A pesquisa científica teórica influía bastante nesses setores para demonstrar à classe capitalista, e especialmente às entidades empresariais gigantes, então surgindo como resultado da concentração e centralização do capital, sua importância como um meio de estimular ainda mais a acumulação do capital. Isto era verdade sobretudo quanto às indústrias elétricas, que eram totalmente o produto da ciência do século XIX, e na química dos produtos sintéticos do carvão e do óleo.”

Em função disso, é possível perceber que a evolução científica que estava acontecendo não mais seria desvinculada dos interesses do capital. Laboratórios de pesquisas industriais e de universidades passaram a investir na produção de novos equipamentos, quer seja para melhorar a produção de bens, quer seja para serem produzidos e consumidos. Ficava cada vez mais patente que ciência, poder e capital se articulavam cada vez mais e melhor.

Essa interação entre as necessidades da indústria e a produção científica, que já havia acontecido em períodos anteriores, intensificou-se durante a primeira metade do século XX. A indústria crescia e exigia novos equipamentos e máquinas baseados na pesquisa científica crescente, que

³¹ Enquanto as máquinas a vapor apresentam um rendimento de 8 a 15%, nos motores elétricos esse valor varia de 60 a 95%.

descobria novos conceitos e facilitava a produção de novas máquinas, que por sua vez faziam a indústria crescer.

Ao lado das mudanças físicas que ocorriam no interior da produção, devido à eletricidade e às novas máquinas, também começaram a ser significativas nesse período as mudanças de organização e gestão do espaço produtivo, algumas delas apontadas por Landes (1994 : 296):

"Mas a eletricidade fez mais do que modificar as técnicas e a aparência das fábricas: ao tornar disponível uma energia barata fora e dentro da fábrica, ela inverteu as forças históricas de um século, deu vida e âmbito novos à dispersa indústria domiciliar e artesanal e modificou o modo de produção. Em particular, ela possibilitou uma nova divisão do trabalho entre grandes e pequenos estabelecimentos. Enquanto, anteriormente, os dois tinham sido quase inevitavelmente opostos num dado ramo industrial - um usando novas técnicas e florescendo, outro agarrando-se aos antigos hábitos e declinando - , tornou-se então possível uma complementaridade. Os dois tipos passaram a poder usar equipamentos modernos, com a fábrica se concentrando em objetos maiores ou em artigos padronizados que se prestassem a técnicas com alto coeficiente de capital, enquanto a oficina se especializava em processos de mão-de-obra intensiva que usassem ferramentas mecânicas leves. E a complementaridade, muitas vezes, transformou-se em simbiose: a moderna estrutura de terceirização na indústria de bens e consumo duráveis apoia-se na eficiência tecnológica da pequena oficina mecânica."

A história porém não pára. No campo da ciência ainda não aplicada, novas e significativas descobertas na primeira metade do século XX abriram o caminho para o entendimento do átomo e do interior da matéria, fatos estes que, quando começaram a ser aplicados, ensejaram a revolução que hoje estamos vivendo e que tem sua base na microeletrônica.

Que novas tecnologias deram origem à revolução Técnico-Científica que estamos vivendo? Desde quando ela está sendo preparada? Qual a sua relação com a ciência? A resposta a essas questões nos remetem ao final do século passado e começo deste, considerado um período fundamental para o surgimento de uma nova forma de entender a natureza.

Hobsbawn (1995), no seu livro Era dos Extremos, particularmente no capítulo 18, caracteriza de maneira bastante clara esse momento, ao colocar que *"nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais nem mais dependente delas do que o século XX. Contudo,*

nenhum período, desde a retratação de Galileu, se sentiu menos à vontade com elas".

Uma diferença significativa entre a "ciência avançada" dos séculos anteriores e a do atual é que, até o final do século XIX, havia apenas uma pequena gama de aplicações práticas, aspecto que tem mudado no século XX, principalmente nas últimas décadas.

Nesse sentido, continua Hobsbawn (1995 : 508):

"... por mais esotéricas e incompreensíveis que fossem as inovações da ciência, assim que eram feitas se traduziam quase imediatamente em tecnologias práticas. Assim, os transistores surgiram como um subproduto de pesquisas na física do estado sólido, isto é, as propriedades eletromagnéticas de cristais ligeiramente imperfeitos, em 1948 (...) como aconteceu com os lasers (1960), que vieram não de estudos ópticos, mas de trabalhos para fazer moléculas vibrarem em ressonância com um campo magnético".

Sobre o transistor, quem imaginaria que, a partir da sua descoberta, em 1948 (ou seja, há apenas 50 anos), poderia se constituir num dos avanços tecnológicos mais significativos do século 20? Além de iniciar a indústria dos "multibilhões" de dólares dos semicondutores, ele contribuiu para o desenvolvimento de todas as invenções relacionadas, como os circuitos integrados, componentes optoeletrônicos e microprocessadores.

Ou então, quem poderia imaginar que a "amplificação de luz por meio da emissão estimulada de radiações" descoberta em 1960 acabasse se tornando o tão comum *laser*, utilizado na indústria como ferramenta para cortes de chapas e posicionamento de peças numa placa de circuito impresso, e pelo mercado consumidor doméstico, já em 1980, como leitor dos dados de um CD Rom ou de um compact disc?

E que dizer do efeito fotoelétrico, explicado por Einstein em 1905, que além de ser um dos pilares do desenvolvimento da mecânica quântica ainda acabou sendo fartamente utilizado nas células fotossensíveis, usadas como posicionadores de máquinas industriais, que indicam a presença ou não de uma peça, que informam se a janela de uma máquina está ou não fechada?

Entretanto, ao mesmo tempo em que ocorre a rápida transformação dessa ciência dos laboratórios em produtos tecnológicos, maior e mais rapidamente passa a ser como uma norma dos fins do século XX, o nosso afastamento do entendimento do funcionamento destes equipamentos. Hobsbawn (1995 : 510), ao descrever essa relação entre o cidadão comum deste século e a tecnologia, chama a atenção para o fato de que para "fins

práticos" não tem havido exigências de que o indivíduo entenda ou modifique o que está acontecendo no interior de um equipamento de alta tecnologia, pois isto alguém já fez por ele.

"Pois, mesmo que nos suponhamos especialistas num ou outro campo determinado - ou seja, o tipo de pessoa que pode consertar o aparelho se der problema, ou projetá-lo, ou construí-lo -, diante da maioria dos outros produtos diários da ciência e tecnologia somos leigos ignorantes sem compreender nada. E mesmo que não fôssemos, nossa compreensão do que é que faz a coisa que usamos funcionar, e dos princípios por trás dela, é em grande parte irrelevante, como é o processo de fabricar cartas de baralho para o (honesto) jogador de pôquer."

Entretanto, do mesmo modo que nas revoluções anteriores, além das mudanças na produção industrial propriamente dita, a Revolução Técnico-Científica tem também provocado, principalmente nos dias de hoje, mudanças na organização e nas relações de trabalho. As novas máquinas, carregadas de aplicações decorrentes das novas tecnologias de base micro eletrônica, tais como comandos numéricos e operações automatizadas, aliadas às novas formas de organização da produção, características de uma forma de produção mais flexível, como o "Kanban", o "just in time" e as "ilhas de produção", exigem dos trabalhadores, para a obtenção e manutenção do emprego, novos comportamentos e conhecimentos.

Para formar trabalhadores com estas características seria preciso pensar numa escolarização que estivesse voltada ao desenvolvimento, entre outros, dos princípios gerais das ciências, assim como das suas aplicações. Este tipo de conhecimento poderia evitar o alheamento que se sente quando se tem pela frente, como ferramenta de trabalho, uma máquina que incorpora na sua operação e produção, um sem número de novas tecnologias. Ou seja, máquinas ou equipamentos que praticamente fazem tudo sozinhas, e que - como já afirmado - nos dão a sensação de espanto e incredulidade quando a vemos trabalhar.