

ANAIS DO  
VI SIMPÓSIO NACIONAL DOS PROFESSORES  
UNIVERSITÁRIOS DE HISTÓRIA

Organizado pelo Prof. *Eurípedes Simões de Paula*.

# TRABALHO LIVRE E TRABALHO ESCRAVO.

VOLUME II

XLIV

Coleção da *Revista de História* sob a direção  
do Prof. Eurípedes Simões de Paula.



SÃO PAULO — BRASIL  
1973.

# RELAÇÃO ENTRE TRABALHO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO RENASCIMENTO CIENTÍFICO.

---

*SHOZO MOTOYAMA*

do Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

## INTRODUÇÃO.

A intenção deste trabalho é de fazer um estudo histórico do desenvolvimento tecnológico com as conseqüentes mudanças nas formas de trabalho e esclarecer a relação entre a Tecnologia e a Ciência durante o período conhecido como Renascimento Científico. Nêsse período, ou seja, nos séculos XVI e XVII, a Ciência atravessou uma fase extraordinária só comparável à explosão científica dos primeiros cinquenta anos do século XX. Realmente, a complexidade da formação da Mecânica Newtoniana, a primeira grande sistematização científica, só tem parâelos na formação da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica. Lado a lado com êsse fabuloso avanço científico como se teria desenvolvido a tecnologia? Teria sido o seu progresso marcante e de ritmo veloz? A resposta é um tímido não. A tecnologia sempre andara a passos tardos no exaustivo método de ensaios e erros dos artífices, artesãos, tecelões, etc. E êsse ritmo continuaria por muito tempo. Norbert Wiener, o fundador da Cibernética diz:

“Outrossim, conquanto a arte de construção naval não estivesse, de modo algum, completamente estacionária, os navios de guerra, de madeira, pouco antes de terem deixado os mares, eram de uma estrutura que permanecera basicamente inalterada desde os primórdios do século XVII, e que, mesmo então, revelava uma ascendência que remontava a muitos séculos”.

---

(\*) . — Comunicação apresentada na 2ª sessão de estudos, Equipe B, no dia 6 de janeiro de 1971 (*Nota da Redação*).

Mesmo um dos marujos do barco que levou São Pau'o a Malta ter-se-ia sentido perfeitamente a vontade como tripulante do castelo de proa num dos navios de Joseph Conrad... Um administrador de uma propriedade de um templo babilônico não careceria de adiestramento especial, nem quanto ao modo de gerir escravos, para tomar conta de uma plantação sulina antiga. Em suma, o período durante o qual as condições básicas da vida da grande maioria dos homens se viu sujeita a mudanças repetidas e revolucionárias não havia sequer começado na Renascença e na época das grandes navegações e só assumiu o ritmo acelerado que hoje consideramos normal em pleno século XIX” (1).

Não foram exceções os séculos XVI e XVII. Do ponto de vista pragmático, as inovações na agricultura, na mineração, na construção naval ou predial, na indústria de têxteis, nas máquinas a vapor, na metalurgia, etc., não foram de molde a revolucionar as tradicionais práticas de até então. Entretanto, existem dois pontos fundamentais que o observador atento não deve deixar passar despercebido. O primeiro ponto se refere à atitude de como uma parcela da sociedade começou a encarar a Ciência. O porta-voz desse novo modo de pensar foi o Lord Chanceler da Inglaterra, Sir Francis Bacon (1561-1626). Deixemos êle mesmo falar:

“O conhecimento e o poder humano são sinônimos, uma vez que a ignorância das causas frustra os efeitos, visto ser a natureza subjugada apenas pela submissão, e aquêle que em filosofia contemplativa corresponde com a causa, na ciência prática se torna regra” (2).

Explicando melhor: a Natureza só pode ser dominada pelo conhecimento das suas leis e somente o uso correto delas tornaria a prática humana bem sucedida. Estava portanto preconizando a utilização de conhecimentos científicos à Tecnologia. Êle próprio não viu realizados os seus ideais, como nota J. Dewey

“O que torna Bacon memorável é o fato de que as brisas soprando de um novo mundo, lhe inflaram as velas e o incitaram a aventurar-se em novos mares. Êle próprio jamais descobriu a terra da promessa, mas proclamou a nova meta e, de longe, des-cortinou, pela fé, suas características” (3).

---

(1). — *Uso Humano de Sêres Humanos*, N. Wiener, tradução portuguesa de J. P. Paes com o nome de *Cibernética e Sociedade*, pág. 44.

(2). — *Novum Organum*, F. Bacon, coleção Great Books, pág. 107.

(3). — *Reconstrução em Filosofia*, John Dewey, tradução portuguesa de A. P. de Carvalho, pág. 63.

O segundo ponto a ser notado é o fato de começar naquele período uma intensificação de relacionamento entre Ciência e Tecnologia através da participação dos cientistas em alguns problemas. Já na Antigüidade, é bem conhecida a história da contribuição de Arquimedes, no áve! cientista, à construção de armas e de máquinas, como também é de conhecimento público a contribuição admirável dos filósofos jônicos em problemas de engenharia. Cumpre salientar, entretanto, que são casos isolados sem nenhuma repercussão na História como um todo. Ao se lançar a vista na lista de cientistas enfiados em problemas tecnológicos daquela época vamos encontrar nomes famosos, na sua maioria físicos, como Galileo (1564--1642) em problemas de construção e resistência de materiais, Stevin (1548-1620) em arquitetura, Pascal (1623-1662) em computador mecânico, Wren (1632-1687) em arquitetura, Hooke (1635-1703) em elasticidade, e Newton (1642-1727) em elasticidade e forças de coesão. Vê-se, por anto que a preocupação por tais assuntos práticos era uma constante a ser adicionada aos homens da ciência do Renascimento Científico. Qual o liame de tal ligação? Responde H. Saegusa, especialista em História da Ciência e Filosofia da Técnica:

“A ligação entre a Tecnologia e a Ciência, se realiza inicialmente pelo fato de se o começar a medir os diversos elementos constituintes (material e formas de procedimento) que asseguram a validade da técnica dentro do campo de produção. Destarte, quando começou-se a patentear a necessidade de se determinar quantitativamente os meios de trabalho produtivo tais como máquinas e objetos e de igual modo se tornou necessário a medida dos objetos desse trabalho (materiais e matéria-prima) a Tecnologia aproxima-se ao mundo das leis científicas através dos instrumentos de medida. Nessa área, o mundo das leis abre generosamente as portas à Técnica em qualquer tempo” (4).

Essas duas tendências, verdadeiros divisores de água entre a Idade Média e a Idade Moderna, são extremamente importantes para a nossa posterior análise. É bom, portanto, que se tenha sempre isso em mente ao longo da incursão histórica ora a ser iniciada.

\*

#### DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO.

Ao analisar o desenvolvimento tecnológico em íntima correlação com a Ciência é preciso levar em consideração não só os resultados desta mas também e principalmente, a atitude e metodologia dos cientistas A Ciência e uma espécie de substrato no qual medra

---

(4) . — *Filosofia da Técnica*, H. Saegusa, pág. 58.

a técnica e vice-versa. Em consequência, é imprescindível no nosso estudo se ter uma visão do desenrolar dos acontecimentos científicos naquela época. Dois eram os grandes problemas. O primeiro deles, se referia aos mistérios cósmicos, uma permanente atração ao espírito humano. O outro, de coisas mais terrenas, menos espetaculares mas igualmente importante; se referia ao movimento dos corpos na Terra. Iniciemos pelos problemas astronômicos. O Sistema Geocêntrico de Ptolomeu, manifestara no decurso de sua história uma série de contradições e uma complexidade nos cálculos. A primeira pessoa na Renascença a apresentar trabalhos dignos de nota foi Peurbach (1423-61). Estudou em Roma e lecionou matemática e astronomia em Viena. Fêz inúmeras correções no *Almagesto* (obra capital de Ptolomeu) e nas tabelas do sistema planetário tais como a Tabela Afonsina baseado em observações e cálculos precisos. Regiomontano (1436-1476) discípulo número um de Puerbach, traduziu o *Almagesto* para o latim do próprio original grego e não das incorretas traduções árabes como era corrente na época. Entrementes, em 1457 êle publicou a sua tabela que evidência novamente discrepâncias das antigas já exis'tentes. Essa tabela de Regiomontano foi usada pelos grandes navegadores como Bartolomeu Dias, Vasco da Gama e Cristóvão Co'ombo (5).

O grande desenvolvimento da navegação na Renascença e a consequente inter-relação entre astronomia e a arte de navegar trouxe à tona a debilidade do sistema tradicional adotado pela Escolástica. Nesse ínterim, surgiu uma das figuras mais estranhas e controvertidas da Renascença, o tímido cônego Nicolau Copérnico (1473-1543). Estranho porque embora rígido conservador, fiel discípulo espiritual de Pitágoras e Platão, realizou uma obra de consequências altamente revolucionárias. Controvertido porque nunca um ser humano recebeu como êle comentários tão diversos e opostos, seja no seu caráter nos seus ideais, nas suas convicções ou mesmo no seu livro tão famoso *Revolutionibus Orbium Celestium* (maio de 1543). Gostaríamos de citar aqui, embora um tanto longo, o comentário do pouco ortodoxo Arthur Koestler:

“... Mas se na realidade, era coisa tão simples assim, surge a pergunta igualmente simples porque antes dêle, ninguém havia realizado um sistema heliocêntrico?...; mas se Copérnico era realmente despido de originalidade e imaginação como tentei pintá-lo é justo que lhe perguntemos porque lhe coube a tarefa de “cristalizar”, enquanto, por exemplo, Regiomontano intelectualmente mais flexível e “moderno” a deixou ao cabo de algumas

---

(5). — *A Grande História das Ciências Naturais*. Dannemann, tradução japonesa de Yassuda e Kato.

sugestões, jamais desenvolvendo uma teoria heliocêntrica sistemática. A chave da resposta está talvez, . . . ., de Copérnico interpretar Ptolomeu (e Aristóteles) e não a natureza. Para um espírito moderno do século XV, êsse empreendimento deve ter parecido em parte impossível, em parte uma perda de tempo. Somente uma pessoa de espírito conservador como Copérnico era capaz de dedicar-se à tarefa de reconciliar as irreconciliáveis doutrinas da física aristotélica e da geometria de círculos de Ptolomeu, de um lado e do universo heliocêntrico, do outro. . . Os grandes descobrimentos da ciência consistem muitas vezes, como vimos, no descobrimento de uma verdade sepultada sob o monte dos preconceitos tradicionais, em sair dos *cul-de-sacs* a que leva o raciocínio formal divorciado da realidade, em libertar o espírito preso entre os dentes de ferro do dogma. O sistema copernicano não é um descobrimento nesse sentido, mas uma derradeira tentativa de recondicionar um maquinismo superado invertendo a ordem das rodas” (6).

Seja qual for o motivo, não se pode negar o mérito de Copérnico por ter lançado as bases para a adoção do sistema heliocêntrico. Felizmente, houve pessoas que souberam apreender a parte melhor e construtiva desse sistema e de qualquer modo ante a evidência dos fatos e dos acontecimentos a teoria ptolomaica estava fadada a perecer. A época da transição não havia ainda passado. Para o sistema heliocêntrico sair-se completamente vitorioso, foi necessário empreender observações e medidas astronômicas mais precisas e em números maiores. O gigante nesse aspecto foi Tycho Brahe (1546-1601), o astrônomo dinamarquês. Instalado no observatório de Uraniburgo, na ilha de Hveen, um verdadeiro palacete, êle ficou durante 20 anos a empregar e a ensinar os métodos de observação exata. As obras de Galilei também devem ser enquadradas dentro desse método. Johannes Kepler (1571-1630) recebeu como legado o fabuloso tesouro de Tycho: os seus inúmeros registros das observações feitas pacientemente em Hveen a “Ilha Escarlate”. Kepler soube tirar bom proveito dêle. Ao contrário do seu mestre Tycho Brahe que usava um sistema próprio — intermediário entre o Sistema Ptolomaico e o Copernicano (aperfeiçoamento do sistema “egípcio” de Heraclides), — êle acreditava no sistema de Aristarcos defendido pelo Copérnico. Ao tentar desenvolver êsse sistema com os novos dados agora em suas mãos, o místico autor de *Mysterium Cosmographicum* (1596), deparou com enormes dificuldades, principalmente no estudo da órbita de Marte. E nessa dura faina ante a

---

(6). — *Os Sonambulos*. A. Koestler — tradução portuguesa de Alberto Denis.

Natureza, Kepler a contragosto, teve de ir abandonando uma por uma as suas convicções platônicas e pitagóricas. O importante a ser notado aqui é o fato d'êles ter aceitado as evidências da Natureza; de ter tido a coragem suficiente de se afastar da harmonia dos círculos perfeitos mesmo à custa dos seus ideais, e mesmo sentindo um grande vazio em seu tórno. O grande livro da Ciência é a própria Natureza e é ela que deve responder às nossas perguntas. Kepler sabia disso e materializa a figura do cientista moderno. As três leis por êle constituem os fundamentos da nova Astronomia. Voltemos agora ao segundo problema, o problema dos movimentos dos corpos na Terra. Sôbre êsse assunto existia desde a Antigüidade uma teoria sistemática de Aristóteles (384-322 a. C.) adotada e tornada intocável pela Escolástica. Entrementes, na Renascença começam a surgir as mais fundamentadas críticas da mecânica do Estagirita. O primeiro d'êles foi Leonardo da Vinci (1452-1519)

“Ele afastou o velho raciocínio metafísico e introduziu o moderno raciocínio científico. Os resultados por êle apresentados nem sempre são corretos, e ao mesmo tempo não são completos, mas são importantes e tinham direção correta. São dignos de nota os seus resultados sôbre a comparação do movimento ao longo do plano inclinado com a queda livre e a sua noção da lei de inércia. O trabalho de Leonardo teve importante função na mudança da forma de pensar. Trabalhos como êsse de transformação de pensamentos não fica na História como algo palpável e passa despercebido pois parece muito natural aos nossos olhos uma vez feita a dita mudança. Contudo o seu papel é na verdade deveras importante e devemos atribuir um alto valor” (7).

Com o desenvolvimento do canhão, intensificou-se o estudo sôbre os projéteis e queda dos corpos. As incongruências da mecânica aristotelica começaram a vir à tona. J. B. Benedetti (1530-1590) criticou com sucesso a crença escolástica da velocidade de queda livre ser proporcional ao pêso. Consideramos dois pesos iguais, se derrubarmos juntos ao mesmo tempo, êles devem cair juntos até ao chão pois têm o mesmo pêso e o mesmo formato. Se amarrarmos os dois, o pêso total será o dôbro, mas em relação à queda, esta disposição é idêntica a anterior e não cairá com o dôbro da velocidade, mas sim com a mesma velocidade anterior. Portanto havia algo errado na explicação da Escola Peripatética. A Mecânica aristotélica recebeu um golpe fatal com as críticas de Galileo. Essas críticas se deram em três pontos principais.

---

(7). — *Introdução à Física*. M. Taketani, pág. 120.

a). — *Inercia*. Esse assunto tinha também relação com os problemas astronômicos. Reconhecendo a existência da lei de inércia, Galileo pôs um ponto final às objeções intuitivas, ao movimento terrestre e praticamente selou a sorte da Teoria Ptolomaica. A pesquisa sobre a lei de inércia levou-o a descobrir a existência de atrito. Modificava-se destarte, a noção do movimento como produzido pela aplicação constante da força. Nessas pesquisas, o gênio de Pisa, usou de modo extraordinário a análise conceitual associado ao método experimental.

b). — *A Queda dos Corpos*. Foi admirável a metodologia usada nesse campo. Antes de procurar as causas do movimento, ele procurou descrever corretamente o movimento da queda. E para isso usou análise conceitual, matemática e experiência. Estava construída a Cinemática. Quanto as causas desse movimento, ele apontou a direção correta mas não chegou a atingir o alvo.

c). — *A trajetória dos projéteis*. Muitos haviam tentado determinar a forma da trajetória dos projéteis. Nicolo de Brescia (1500-1557), mais conhecido como Tartaglia, havia chegado perto, dizendo ser constituído de dois segmentos tangentes a uma circunferência (1537). A verdadeira solução foi encontrada por Galileo e era uma parábola, uma das curvas cônicas de Apollonius (262-200 a. C.). E desses estudos se esclareceu a regra da composição de movimentos com a ajuda da lei de inércia. Nos meados do século XVII, estava tudo preparado para a grande síntese das duas áreas: o movimento dos astros e o movimento na terra.

“Em fevereiro de 1685, Newton enviou um pequeno opúsculo intitulado *Propositiones de Motu Corporum* ao *Royal Society* acerca de suas pesquisas sobre o movimento de forças centrais, pois era profundo o seu interesse sobre o tema central do mundo científico da época: os problemas de mecânica e de gravitação. Esse livreto constituía a base da sua posterior obra maior o *Principia*. Dezoito meses depois, no dia 28 de abril de 1686 a mesma instituição recebia uma cópia revisada e muito aumentada. Consistia no prefácio e no capítulo 1 do *Principia*” (8).

Entrementes, publicação do *Philosophie Naturalis Principia Mathematica*, considerado um dos maiores senão o maior monumento da Ciência Moderna, só se deu em julho de 1687, graças à amizade e auxílio financeiro de Edmund Halley (1656-1742), o bem conhecido descobridor do cometa que leva o seu nome. Estava cons-

---

(8). — *Principia de Newton*, em curso de Ciências Naturais Modernas. J. Sugai, pág. 128.

truída a Mecânica Newtoniana. O significado dessa obra está muito bem resumido nas seguintes palavras do eminente físico japonês M. Taketani:

“Através dessas duas coisas de Galilei e de Kepler, das leis da terra e do céu, ambas ainda limitadas e específicas, por intermédio desses conhecimentos substancialísticos foi alcançado o conhecimento geral e essencial. Isto é, Newton (1624-1727) concretizou o conceito fundamental da força na inter-relação das substâncias, apreendeu a relação entre a massa (quantidade substancialística da matéria), e a força (interação das substâncias) como aceleração no caso e por intermédio do movimento das substâncias. Por outro lado, estabeleceu a força da gravitação referente à interação mais geral das diversas matérias como uma lei relativa às massas. Dêste modo qualquer que fôsse a relação existente entre quaisquer matérias, tornou-se possível intermediar a sua manifestação fenomenológica: o movimento” (9).

\*

#### MINERAÇÃO, METALURGIA E ENGENHARIA MECÂNICA.

A mineração e os processos metalúrgicos associados tem uma longa história sendo uma das mais velhas indústrias conhecidas. Na Idade Média a Alemanha era conhecida como o país mais rico em reservas minerais. Os senhores feudais estavam interessados nessas minas para aumentar o seu poder militar e os comerciantes procuravam-na como a fonte mais farta das suas riquezas. E essa tendência intensificou-se principalmente no fim da Idade Média, no período de transição para a Renascença.

“A procura dos metais começava a aumentar dia a dia. Os seus preços atingiram valores astronômicos. Os pedidos e a procura fomentaram vigorosamente a mineração e as suas exigências quase olvidaram a importância da agricultura. Ao se falar em minérios, vem à tona a região de Hartz (região montanhosa da Alemanha). Os habitantes dessa região mineira já vinham explorando a prata e os outros metais há mais de mil anos. No século XI já existia uma indústria de mineração” (10).

A mineração de cobre era a mais intensa. Isso tinha a sua razão de ser. Além de servir de base para os monumentos artísticos de grandes escalas, o cobre combinado com o estanho dava o bronze, material indispensável para a produção de canhões. Por êsse e por outros motivos, Carlos V afirmou em 1525:

---

(9). — *Sobre a Formação da Mecânica Newtoniana — em problemas da Dialética*. M. Taketani, pág. 91.

(10). — *Grosse Ingenieure*, C. Matschoss, s. 62.

“A mineração foi o maior tesouro outorgado por Deus à Alemanha” (11).

Na realidade, as minas foram sustentáculo financeiro do poder político e militar dêsse imperador e em consequência é inteiramente compreensível o fato de ter proferido tais palavras. O prestígio e a fama de Jakob Fugger transparece cristalina como a água nestas palavras de um cronista de Augsburg:

“Os nomes de Jakob Fugger e de seus sobrinhos são conhecidos em todos os reinos e países, igualmente entre os pagãos. Imperadores, reis, príncipes e senhores lhes têm enviado embaixadas, o Papa saudou-o e abraçou-o como seu caro filho, os Cardeais levantaram-se diante dêle. Todos os comerciantes do mundo dizem-no um homem inspirado, e êle tem maravilhado os pagãos” (12).

Esse prestígio, essa fama dos Fuggers vinha sem sombra de dúvida da sua incontável riqueza acumulada graças ao controle sobre as minas da Alemanha e de outras regiões. Os maiores centros de atividade de extração de metais eram Augsburg e Nuremberg. Estima-se em cerca de 100.000, o número de pessoas engajadas para o duro trabalho de metalurgia e mineração na Alemanha daquela época. Esse número monstruoso de trabalhadores que por contingências sociais e políticas de uma época foram carreados para uma atividade específica certamente tiveram de adquirir técnicas também específicas peculiares a essa atividade. A mineração tinha uma longa história

“Como foi longo o tempo gasto pelo homem, desde as imemoriais éras quando aprendeu pela primeira vez a usar o fogo até conseguir fundir os primeiros metais” (13).

As técnicas dos trabalhadores da Renascença eram completamente diferentes dos trabalhadores dos períodos anteriores? Se as técnicas diferirem, evidentemente as formas e a organização do trabalho também divergem. Entrementes, como afirma o enciclopédico A. Wolf,

“a mineração e a metalurgia correlata a essa ocupação tinham sido quase completamente desenvolvidas antes do advento

---

(11). — *História do Estabelecimento da Ciência Moderna*. J. Sugaí, pág. 17.

(12). — *Época Histórica de Galileo Galilei em Estudos sobre Galileo Galilei*, E. D. Macarthy Moreira, pág. 18.

(13). — *Filosofia da Técnica*. H. Saegusa, pág. 53.

do período moderno. Os séculos XVI e XVII contribuíram muito pouco para o ulterior progresso” (14).

Evidentemente, o número de trabalhadores havia aumentado muito e isso deve ter se refletido pelo menos na parte da organização de trabalho. Contudo a forma de se trabalhar continuava a mesma de séculos antes. A prospecção estava às vezes associada a ritos mágicos ou crenças absurdas como a de haste mágica. Consistia esta haste de uma forquilha, principalmente de aveleira, ou ainda de outras espécies tais como freixo, pinheiro, e mesmo ferro e aço. Ao se passar por cima do filão procurado, a haste mágica se encurvava, revelando portanto a sua posição. Então limpava-se a área com facão ou machado e abria-se buraco com enxada, enxadão ou picareta.

“É digno de nota o fato de Robert Boyle ser crente nessas hastes mágicas um século depois de Agrícola tê-las rejeitado e na verdade elas marcaram uma época” (15).

O modo mais racional e técnico de fazer a prospecção era através de “indicações naturais” do filão. O homem havia chegado a essas “indicações naturais” pela prática milenar da prospecção. Elas consistiam no seguinte: a água borbulhante das fontes, os pedaços de pedra trazidos a mostra pelas águas, a ausência de geadas nos pastos, quando as áreas circunvizinhas sofrem desse fenômeno; presença de árvores cujas folhagens apresentam uma côr azulada ou côr de chumbo. Explicava-se os tais fenômenos como conseqüências de exalações, intensas, quentes e secas provenientes do veio metálico. Entre os instrumentos mais usados pode-mos citar martelos, cunhas, picaretas, enxada, pá de ferro, canastra, balde, carrinho de mão, cordas, roldanas, bombas, conhecidas desde muito tempo não sendo portanto nenhuma novidade. As minas subterrâneas eram difíceis de escavar e o trabalho dentro das minas era estafante. Algumas eram escavadas montanha a dentro com picaretas, pás, martelos e cunhas e muitas vezes os operários tinham de trabalhar ajoelhados. Os minérios ou as terras escavadas eram carregados com as carretas e estas eram impulsionadas pelos músculos humanos. Muitas minas eram escavadas em forma de poços e os materiais eram retirados com roldanas e baldes e devem ter proporcionado muitos calos às pessoas incumbidas de operar estas máquinas. A análise dos minérios era uma outra operação importante. Para se fundir proveitosamente ou para se eliminar a escória necessário se tornava essa operação. Instrumentos especifi-

---

(14). — *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th e 17th Centuries*, A. Woli.

(15). — *Ibidem*.

cos para essa tarefa eram fornalhas, cadinhos, moldes, balanças, etc. Era um trabalho um tanto especializado exigindo um prévio treinamento. Cada tipo diferente de metais, tais como estanho, bismuto, mercúrio exigiam instruções próprias. A testagem era feita pelo *ouch-stone*, principalmente para metais preciosos. Não existe nenhum relato adequado do uso dessas pedras negras ou verde-escuras antes do século XVI. O minério antes de ser fundido era preparado passando pelos seguintes processos: classificação, trituração, pulverização, peneiração, lavagem e grelhagem. Tudo isso pelo esforço muscular ajudado apenas pelos instrumentos simples já enumerados. Devia ser dura a profissão de mineiro. Para mitigar um pouco esse desgaste humano, foi inventado em torno de 1500 uma máquina de moer (*stamp mills*) de um inventor anônimo movida pela força das águas. Agora, chegou a vez de falar sobre a fundição de metais. Os métodos diferiam pelos vários tipos de fornalhas, de diferentes tipos de foles e de outros aparelhos. Os metais trabalhados naquela época eram o ouro, a prata, o cobre, o ferro, o chumbo, o estanho, o antimônio, o mercúrio e o bismuto. A maioria desses processos, nos quais o labor humano se manifestava fornecimento de lenhas à fornalha, à manutenção do fogo através de foles, na perigosa operação de colocar o minério fundido nos moldes e outras tantas tarefas, já eram conhecidos desde a Antiguidade. O século XVI leva a primazia em ter descoberto a grelhagem do cobre antes de fundir, a redução do bismuto do minério e a redução do zinco do minério. Em 1523, foi inventado na Inglaterra a fornalha de ação. Mas o seu uso não foi disseminado por motivos econômicos e dificuldades de se trabalhar. O preço do aço era alto naqueles dias e ele era usado somente para a confecção de armas, partes de máquinas têxteis e alguns instrumentos muito especiais. Outro aspecto interessante é a separação de diversos metais. Vamos encontrar aqui uma interação com a Química. Para a separação de ouro da prata era usado “a água forte” *acqua valens* segundo a nomenclatura da época. Ela não passava de ácidos minerais, ou mistura deles, conhecido previamente como *agua fortis* (ácido nítrico) e *aqua regia* (mistura de ácido nítrico com ácido clorídrico). A novidade no caso, é o método “liquefação” de separar o cobre da prata. É uma autêntica descoberta do século XVI. O processo consiste em duas partes (sendo apenas a primeira parte original). Uma liga de cobre com chumbo (com excesso de chumbo) é aquecida sob pressão reduzida para evitar oxidação) até a uma temperatura superior a ponto de fusão do chumbo. Esse metal então se liquafa ou se funde. Como a temperatura é feita de tal modo a não alcançar o ponto de fusão do cobre, este continua sólido e apenas o chumbo se escoia, carregando consigo

a prata. Na segunda parte do método, a prata é finalmente separada por outros métodos já conhecidos. Passemos agora, a um ramo diferente: a fabricação de vidros. Essa ocupação é também uma das velhas conhecidas remontando a sua origem aos tempos pré-históricos (16).

Em termos de algo realmente novo os séculos XVI e XVII têm muito pouco a acrescentar. Contudo por falta de registro muita coisa tinha ficado perdida e foi redescoberta na época do Renascimento Científico. A maioria das descobertas, algumas feitas inclusive por acaso, se relacionava com a fabricação de vidros coloridos e de pedras preciosas. Em 1540, Cristóvão Schurer de Neudeck (Alemanha), encontrou um método de fazer o vidro de cor: fundindo o vidro com os resíduos de minério de onde se extraiu algum bismuto. Nos fins do século XVI, Andreas Libavius e Johann R. Glauber, descobriram o processo de produzir os vidros numa linda cor vermelha. O químico de quem a Inglaterra muito se orgulha, Robert Boyle, percebeu dois fenômenos curiosos dos vidros coloridos. Os agentes responsáveis pela coloração em certos casos penetram por todo gás e nos outros ficam somente na superfície. O autor do *The Sceptical Chemist* conseguiu produzir vidros incolormente coloridos quase acidentalmente. Ao destilar amálgama de ouro, verificou surpresa que uma parte do vaso de vidro tinha cor áurea. Então continuou a destilação por um longo tempo até o vidro arrebentar-se. O vidro tinha uma matriz vermelha de parte a parte no cômputo geral, porém, o progresso técnico da vidraçaria foi muito pequeno. Examinemos agora, rapidamente, o desenvolvimento da engenharia mecânica. Sem dúvida, essa foi a parte da Tecnologia onde se verificou o mais acelerado progresso na época por nós considerada. Devido a sua íntima correlação com a mineração e devido o crescimento da mesma nunca antes observado, a engenharia mecânica teve de enfrentar dia a dia, problemas requerendo rápida solução. Os setores mais beneficiados foram aqueles das máquinas de puxar e das bombas. Foi justamente nessa área onde começa a se notar uma característica depois avultada na Revolução Industrial e nas épocas posteriores: a substituição das máquinas ao trabalho muscular dos homens e dos animais. Os seres animais ou humanos efetivamente não conseguiram dar cabo das dificuldades dos trabalhos quando as minas começaram a se tornar profundas. Pode se imaginar quão desumanas eram as tarefas de puxar os pesadíssimos minérios de dezenas de metros de profundidade. De igual modo pode-se aquilatar o terrível labor de bombear as águas do subsolo para fora das minas.

---

(16). — *Wolf, op. cit.*

Era labutar interminável que não permitia um segundo sequer de descanso. Compreende-se perfeitamente como o mineiro do século XVI ansiava para ver-se liberado dêsse trabalho. Ao seguir-se a evolução das máquinas de levantar pesos desde o caso do simples sarilho até aos moinhos mais sofisticados, o progresso é muito pequeno. Inclusive as fantasias daquela época sôbre as máquinas de levantar peso, na sua grande maioria aspirando aproveitar a fôrça dos cavalos, transfigura nos como pífiás ante as realidades nossas do século XX, tais como os guindastes. O transportar e dos minérios era feito em carroças de tração animal e nas minas haviam trilhos de madeira para carretas. As bombas para expulsar as águas começaram como modestas bombas à sucção, funcionando à base da pressão do vácuo vão aumentando em tamanho e sofisticando-se na sua fôrça motriz. Contudo não chegam a substituir nem a dispensar a tração animal. Isto só seria conseguido com a máquina à vapor de Papin (1646-1712) ou de Newcomen (1663-1729) mui'õ rudimentares, mas sim de Watt (1736-1819). Ao longo da nossa narrativa, pudemos observar quanto a ciência pouco contribuiu para racionalizar ou para transformar os meios e os modos de trabalho da mineração e atividades correlatas. Isso nos afigura muito natural pois a contribuição prática da Ciência à Tecnologia foi praticamente nu'a. E a Ciência só pode interagir com o Trabalho por in'ermédio da Tecnologia. Daí... Porquanto tinha sido uma época relativamente estagnada do ponto de vista pragmático, os séculos XVI e XVII, apresentam um sutil aparecimento de um rebento que nós reputáramos de muito importante. Era o prelúdio de uma nova éra, dos primeiros sin'omas da frutífera união entre a Ciência e a Tecnologia. Referimo-nos aos opúsculos e aos tratados de assuntos eminentemente técnicos. Vemos assim em mineralurgia o surgimento do anônimo *Ein Nutzlich Bergbuchlein* (Um livreto Proveitoso de Mineração). Em tórno de 1510, apareceu o também anônimo *Probierebuchlein* (Livreto de Análise). O primeiro livro sis'emático de mineração e metalurgia de autoria de Vannucio Biringuccio, foi *De la Pirotechnia*, aparecido em 1540. Agrícola havia publicado um pequeno livro de mineração em 1530, com o títu'õ de *Bermannus*, mas a sua obra maior, o famoso *De Re Metallica* só viria à luz em 1556. primeiro livro dedicado exclusivamente à fabricação de vidro foi publicado, no ducado de Toscana na cidade de Florença em 1612. É o livro do padre Florentino Antônio Neri chamado *De Arte Vetraria*, uma coleção de informações colhidas nas fábricas ita'ianas de vidro, sendo especialmente famosas nesse mister as cidades de Florença, Veneza e Milão. Baseado na obra de Neri, Johann Kunckel publicou o seu importante *A arte de Fabricar Vidros* em 1679. Esses livros foram traduzidos para várias línguas e foram disseminados por tóda a

Europa. Outra tendência digna de nota é o uso generalizado de esboços e desenhos preciosos de máquinas, iniciado por Leonardo da Vinci e continuado por Agrícola, Veranzio, Zonca, Castelli e outros. Para concluir esta secção, gostaríamos de nos deter mais um pouco em torno de Georg Bauer (1494-1555), mais conhecido pelo seu nome latinizado Georgius Agricola e da sua grande obra *De Re Metalica*. Ele simboliza a figura do homem culto, versado em ciência, ardorosamente interessado em tecnologia e indústria. Agrícola nasceu e viveu no ambiente agitado da Alemanha e sentiu de perto o formigamento másculo das indústrias de mineração. Viveu também imerso no formidável ambiente científico e cultural da Renascença. Em 1514 ingressou na Universidade de Leipzig com 19 anos de idade e em pouco tempo se tornou um emérito conhecedor de Latim, caso raro na Alemanha daquela época.

Ensinou grego em uma escola protestante sob jurisdição de Lutero e Melanchton para se transferir posteriormente para a Universidade de Leipzig. Em 1524, com 29 anos, viaja para a Itália com o fito de estudar ciência e Medicina. Seu itinerário começa em Bolonha e Pádua. Vive 2 anos em Veneza (estudando entre outras coisas a arte de imprimir) e passagens por Milão e Roma. E nesse ambiente maravilhoso da Renascença italiana acumulou extraordinários conhecimentos em Ciências Naturais, Medicina e Filosofia Antiquidade e Idade Média além de familiarizar-se com a tecnologia da ciência da Arábia (17). Em 1527 retornou a Alemanha e fixou a sua residência em Joachimsthal (cidade situada na atual Checoslováquia) e exerceu ali a profissão de médico. Joachimsthal era uma cidade tipicamente mineira. Conta-se que lá se estabeleceram 14 fábricas, o número de mineiros atingia cerca de 8000 com 400 supervisores de operários. Agrícola interagiu intensamente com essas pessoas. Em primeiro lugar como um médico capaz e em segundo lugar como um curioso interessado em todos os passos da mineração. Posteriormente, em 1535, transferiu-se para a cidade de Chemnitz uma grande cidade industrial. Demonstrando muita habilidade, tanto na Medicina como na política, foi eleito por 3 vezes prefeito dessa cidade. Os últimos anos da sua vida ele dedicou a escrever o *De Re Metalica*. O tratado constituiu-se de 12 volumes e é uma jóia de precisão nas descrições e nas gravuras. Reivindicava a necessidade do mineiro ser versado tanto em ciência como em tecnologia. Estão citadas como necessárias ciências para a mineração: filosofia natural, medicina, astronomia, agrimensura cálculo desenho e estudo de leis". . . Sobre esses pontos, *De Re Metalica* trata a mineração sob uma perspectiva inteiramente moderna e de um

---

(17). — Sobre esse assunto veja *A História do Estabelecimento das Ciências Modernas* de J. Sugai.

ponto de vista admiravelmente sistemático. O método usado por Leonardo da Vinci está consistentemente usado nesse caso de mineração. Revivendo os ensinamentos aprendidos no próprio campo de produção, utilizando-se da própria experiência, Agrícola ao escrever a sua obra, estava contribuindo em grande escala para a modernização da técnica de mineração (18).

Estivemos percorrendo um tanto longamente sobre Georg Bauer o Agrícola, por ser a sua valiosa contribuição de um grau um tanto diferente no progresso tecnológico. A contribuição dele não é uma contribuição direta, palpável à tecnologia, mas indireta, de mudança de atitude, de adoção de um método sistemático, e de reconhecimento da importância da Ciência nessa área de ocupação humana. Aliás, única contribuição real da Ciência à tecnologia, naqueles dias, como queremos provar nesse nosso trabalho.

\*

#### TECNOLOGIA LIGADA AOS PROBLEMAS DE CONSTRUÇÃO.

Nunca houve jamais, em tempo algum, um edifício tão belo como era a “Hospedaria dos Inocentes”, na Florença, destinada às crianças abandonadas e sem pais na época da Renascença (19). A Arquitetura e construção dos palácios, templos, igrejas e fortificações, tinham também uma longa história. Na época da Renascença houve algumas mudanças de tipos de casas e principalmente de fortificações e castelos diferentes. Isto, devido principalmente ao aperfeiçoamento de canhões; os castelos e as fortificações começaram a ter novas estruturas e novas localizações. Simon Stevin, nome muito ligado ao cálculo dos decimais e de juros, a regra do paralelogramo da composição de forças, era na realidade um técnico especialista em construção de castelos. Contudo, os princípios básicos e a forma de trabalho dos operários em pouco havia mudado. Galileo Galilei, também esteve imiscuído em problemas tecnológicos, principalmente quando professor em Pádua. Ele fazia frequentes visitas ao Arsenal de Veneza.

“A mecânica de Galileo foi útil para a tecnologia na prática real só campo de produção? Disso não existe a menor sombra de dúvida. O autor do *Venetian Ships and Shipbuilders of the Renaissance* (F. C. Lane), conta que Galileo foi procurado pelos fabricantes de navios para colaborar e dar sugestões mecânicas na construção de navios e ele se prontificou a ajudar”.

---

(18). — de J. Sugai, *op. cit.*, pág. 18.

(19). — *Lógica das Cidades*, G. Hani.

Essa contribuição na nossa opinião, foi pequena. Ou seja, quem analisar os escritos de Galileo, notará uma preocupação em explicar racionalmente e tornar o conhecimento técnico sistemático. Visto a longo prazo, como mudança de atitude dos técnicos, uma tal inovação é muito importante. Mas a curto prazo, por ser incipiente, e por ser a mentalidade muito difícil de se mudar, o seu resultado prático é pouco confortador. Fundamentalmente, Galileo quer introduzir o método de demonstração matemática na tecnologia e o faz com certo sucesso. No estudo de resistência dos materiais, desenvolve esse método e chega como o seu famoso predecessor Leonardo da Vinci em alguns resultados não muito corretos. Algumas passagens são no entanto brilhantes como é o caso da comparação de resistência dos corpos de tamanhos diferentes, mas de mesma configuração geométrica. Edmé Mariotte (aprox. 1620-1684) também trabalhou nesse campo sobre a resistência de uma viga a fratura obtendo resultados razoáveis. Nessa época já se nota um número muito crescente de trabalhadores especializados possuidores de uma técnica característica. E dentre esses, alguns mostram genuíno interesse em tentar compreender a razão de seus procedimentos técnicos. O mais conhecido livro de Arquitetura dessa primeira fase é *A Arquitetura* de Andrea Palladio (1518-80) publicado em 1570). Esse livro reflete muito bem a atmosfera da época: uma imitação das antigas proporções, deixando o período gótico para trás. Está baseado no *Da Arquitetura* de Vitruvius e a única novidade é a descrição das recém-construídas pontes de estruturas de madeira. François Deraud, é um outro conceituado autor (o seu *Arquitetura* foi publicado em 1643 em Paris). O seu método gráfico para a construção dos arcos em geral era muito aceito. Em meados do século XVII, Joseph Moxon (1627-1700) publicou os seus Exercícios de Mecânica. É uma mera descrição dos conhecimentos práticos tradicionais de construção, de marcenaria e ferramentaria. Sir Christopher Wren, em seus relatórios oficiais sobre edifícios públicos, fez críticas e comentários. Assim, ele criticou o desenho e a construção da abóbada Velha São Paulo. A Catedral Salisbury e a Westminster Abbey não escaparam à argúcia de Wren. Porém, a própria concepção de Wren por exemplo, sobre os arcos, estava errada. Esse aspecto proporcionaria excelentes estudos de Robert Hooke, posteriormente.

\* \*  
\*

## CONCLUSÃO

Assim chegamos ao ponto final da nossa longa excursão pelas minas e catedrais do século XVI e XVII. Em primeiro lugar, salta a nossos olhos, o pequeno desenvolvimento efetivo experimen-

tado na tecnologia. Por conseguinte não houve grandes mudanças nas formas de trabalho, e os homens continuaram labutando segundo as tradicionais práticas milenares. De diferente, nós no aríamos apenas a formação em maior número de certos operários e trabalhadores especializados, que poderiam muito bem receber o nome de técnicos, num sentido um pouco diferente de artifices, artesãos ou pedreiros. Isso do ponto de vista pragmático, imediatista, utilitário. Uma análise mais profunda revela a existência dos germes da Revolução Industrial iminente e da Revolução Tecnológica um tanto quanto longínqua ainda. E esses germes nós vamos encontrar na relação cada vez mais estreita entre a Ciência e Tecnologia. A muitos, es a afirmação pode parecer paradoxal uma vez que em todo o decorrer do presente trabalho, tentamos alardear a ineficácia dos cientistas em resolver os problemas práticos imediatos. Visto a longo prazo, essa união seria de uma incrível fertilidade. Isso porque os cientistas muito contribuíram para estabelecer um clima favorável ao método científico nos meios tecnológicos. Clima este que se reflete no gosto à precisão, uso da matemática, confiança em resultados científicos. Os inúmeros livros sobre tecnologia aparecidos nessa fase atestam essa afirmação. Como continuação dessa tendência viriam as escolas de tecnologia aparecidas no século XVIII, a mais famosa das quais é a Escola Politécnica de Paris fundada em 1795. Estava aberto o caminho para a Engenharia. Essa união Ciência-Técnica continua ainda hoje dando frutos para a tecnologia, sendo um belo exemplo as “pesquisas operacionais”. Mas nos idos anos de 1500 a 1700, poucos poderiam prever tal sucesso. Num mundo inteiramente pragmático e imediatista, como é o mundo de hoje, gostaríamos de chamar a atenção a esse fato, à essa lição que o passado nos proporciona.

\* \* \*

### INTERVENÇÕES.

Da Profa. *Maria Beatriz Nizza da Silva* (FFLCH/USP. São Paulo).

Fêz as seguintes objeções:

1). — A ausência de definição de conceitos de *ciência* e *tecnologia* utilizados no trabalho apresentado.

a). — O conceito de *ciência* é extremamente complexo e além disso, é um conceito *histórico* na medida em que cada período apresenta o seu conceito próprio. Certamente, os denominados cientistas ou sábios nos séculos XVI e XVII não concordariam com o conceito de ciência que se encontra implícito no trabalho. Se o Autor utiliza um conceito atual, importava defini-lo previamente.

b). — Quanto ao conceito de *tecnologia*, a ausência de definição torna-se tanto mais necessária quanto é um conceito notoriamente moderno.

2). — A utilização de informação em segunda mão, com to'al ausência de um exame de textos dos séculos estudados. O Autor se refere, entre outros, a Boyle, Galileu Newton mas nunca utiliza as suas obras. Ora, do mesmo modo que em outras áreas de investigação histórica não se concebe a ausência de uma massa documental, também na história das ciências e das técnicas importa utilizar a documentação, manuscrita ou impressa, da época em estudo, pois só através dela se pode examinar as relações complexas entre algo que se denomina *ciência* e algo que, conforme as épocas, se denomina *arte* ou *técnica*.

\*

Do Prof. *Roberto Machado Carvalho* (FFCL/Itú. São Paulo).

Solicitou esclarecimentos sobre os germes da revolução industrial, de forma concreta, como, por exemplo a máquina a vapor etc. — que embora aludidos no texto da Comunicação, nele não apareciam concretamente.

\* \* \*

#### RESPOSTAS DO PROF. SHOZO MOTOYAMA.

Antes de responder às perguntas formuladas, diz que talvez sejam necessários alguns esclarecimentos. Declara que a sua formação académica é essencialmente de ciências exatas, uma vez que é licenciado em Física e especialista em História das Ciências. Acredita, portanto, que deve haver um problema de comunicação e que a sua linguagem parece não ter sido bem entendida.

\*

À Profa. *Maria Beatriz Nizza da Silva*.

Afirma que definir Ciência e Tecnologia é muito difícil. A Ciência é um processo em evolução e encerra uma multiplicidade de aspectos. Uma definição pegaria um ou alguns desses aspectos e mutilaria o seu significado. É essa a razão de se ter um sem número de definições de Ciência, todas diferentes. Existem mesmo renomados autores que afirmam categoricamente não se poder definir a Ciência. O mesmo pode ser dito da Tecnologia. Eis as razões de não ter se aventurado em fazer tais definições.

Quanto à segunda objeção declara estar inteiramente de acôrdo com a Profa. Maria Beatriz Nizza da Silva. Mas, evidentemente, êste seu trabalho não foi feito sem consultar as fontes ou os depressamente na comunicação, muito mais lamentável quando se sabe que do *De Re Metallica* de Agrícola, citado no texto foi retirado um grande manancial de informações. Promete ser mais cuidadoso nas próximas vêzes.

Finalmente agradece à Professôra Maria Beatriz Nizza da Silva o interêsse que dispensou ao seu despretencioso trabalho.

\* \*  
\*

Ao Prof. *Roberto Machado Carvalho*.

Afirma que acredita ter havido o problema, já aludido mais acima, da comunicação. A objeção se refere ao ponto mais fundamental da sua temática. Receia, entretanto, de não ter sido compreendido. Foi sua intenção mostrar que êsses germes eram imateriais e que não se poderiam ser identificados concretamente. E isso era o importante. A mudança de atitude, como é o caso, é um fator decisivo para qualquer desenvolvimento. E essa mudança de atitude intensificou o relacionamento Ciência-Tecnologia, dando como um dos seus frutos, a máquina a vapor de Watt. Como prova, apresenta o fato de terem sido escritos inúmeros livros de Tecnologia naquela época, cousa inédita até então.