

CIÊNCIA BÁSICA E PESQUISA APLICADA

O Conhecimento, seu Uso e a relação entre os dois Programas

Alaor Chaves

Resumo

A relação entre ciência e tecnologia é rica e complexa. É comum dizer que a ciência é percussora da tecnologia, mas isso revela só um lado da medalha. Na verdade, a tecnologia é muito mais antiga do que a ciência e sua história remonta ao surgimento do gênero *Homo*. A Revolução Científica dos séculos XVI e XVII decorreu em grande parte da evolução do artesanato – a arte dos ofícios – no final da Idade Média. A Revolução Industrial dos séculos XVIII e XIX também decorreu diretamente do artesanato, e até meados do século XIX pouco teve a ver com o conhecimento científico já alcançado. O papel dos governos no desenvolvimento da ciência e da tecnologia foi bem restrito, limitando-se à criação das universidades. Não havia políticas governamentais para essas categorias de pesquisa. Apenas no período que antecedeu à Segunda Guerra Mundial, e principalmente durante e após a guerra, as relações entre ciência e tecnologia se estreitaram e envolveram a atuação dos governos. No pós-guerra, houve conceituação da pesquisa nas categorias ciência básica e pesquisa aplicada a criação de instituições de suporte às duas atividades.

Ciência básica e pesquisa aplicada até a Segunda Grande Guerra

Já no início da Revolução Científica, Francis Bacon (1561-1626) defendia o uso prático do conhecimento sobre os fenômenos naturais. Segundo Bacon, o papel prático da ciência seria estabelecer o poder do homem sobre a natureza. A ideia não motivou muitos cientistas e nem mesmo governantes. Na verdade, causa surpresa e até espanto constatar que a Revolução Científica e a Revolução Industrial, que abriram o caminho para o mundo moderno, ocorreram com pouca participação do Estado. Os governantes, obviamente, tinham noção da importância do Iluminismo que sucedeu a Revolução Científica, até mesmo porque eles foram dramaticamente afetados pelo Iluminismo, que gerou a Revolução Francesa e de resto demoliu todo um conjunto de monarquias totalitárias.

Vários cientistas envolveram-se na invenção ou aprimoramento de instrumentos com os quais pudessem avançar na investigação da natureza. Nesses se incluem Galileu (1561-1642) e Newton (1643-1727), os dois gigantes da Revolução Científica. Galileu aprimorou a luneta, dando-lhe poder bastante para realizar descobertas sobre os corpos celestes que acabaram sendo essenciais para a aceitação da revolução em marcha e Newton inventou o telescópio de reflexão, o passo inicial para o desenvolvimento dos telescópios modernos. Enquanto Newton escrevia o seu grande livro *Principia*, Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), usava o microscópio, que ele próprio havia aprimorado, para descobrir as células, os micro-organismos, os globos vermelhos do sangue, o espermatozoide e outras coisas. Por causa dessas descobertas pioneiras, Leeuwenhoek é conhecido como o pai da microbiologia,

distinção que mais tarde teve de dividir com Louis Pasteur (1822 – 1895). As realizações de Leeuwenhoek são o primeiro grande exemplo de importantes descobertas científicas resultantes de novos instrumentos de investigação. Hoje, esses aparatos são chamados instrumentos científicos e exercem um papel fundamental na pesquisa científica. Também fundamentais para as descobertas de Hans Christian Oersted (1777-1851), André-Marie Ampère (1775-1851) e Michael Faraday (1791-1867) no campo do eletromagnetismo foram a invenção da pilha voltaica por Alexandro Volta (1745-1827) em 1800 e do galvanômetro por Oersted em 1820. Mas todas essas investigações e até mesmo as invenções tinham objetivos puramente científicos – a busca desinteressada do conhecimento –, não qualquer uso em benefício das pessoas.

Por causa da desvinculação inicial entre o conhecimento científico e suas aplicações, por um bom tempo a pesquisa científica não recebeu apoio especial dos governos. Os cientistas costumavam ser docentes universitários, profissionais liberais, clérigos, homens de posses ou pessoas que logravam obter patrocínio de algum milionário. Leeuwenhoek ganhava a vida como comerciante de tecidos.

A Revolução Industrial, até meados do século XIX, quando teve início a Segunda Revolução Industrial, teve pouca influência da Revolução Científica e da ciência que continuava avançando. Sua origem decorreu do avanço do artesanato (arte dos ofícios) que vinha ocorrendo desde a Baixa Idade Média, e que já tinha sido um dos promotores da Revolução Científica, principalmente da visão mecanicista da natureza (Basalla 1988, Cardwell 1995). Basalla aponta o fato, comumente desconsiderado, de que a tecnologia na verdade é bem mais antiga do que a ciência. Tecnologia baseada na ciência é um fenômeno bem recente. Como bem apontou Jacob Bronowski, a Revolução Industrial iniciou-se nas províncias, principalmente da Inglaterra, com a construção de rodas d'água para irrigação e para mover moinhos, canais de água para transporte de mercadorias e coisas do gênero. A partir de 1760, quando James Watt desenvolveu um motor a vapor com eficiência suficiente para bombear água das minas e mover locomotivas, a fonte motora mudou da água para o fogo. Ainda havia pouca participação da ciência no desenvolvimento das novas máquinas e no crescente uso do ferro.

Na França, a Revolução Francesa levou à criação de universidades, especialmente as Grandes Écoles, com propósitos sociais e políticos especiais. Particularmente importantes para desenvolvimentos técnicos fundados em ciência foram a École Polytechnique, fundada em 1794, e outras escolas de engenharia. Sadi Carnot (1796-1832) ingressou na Polytechnique, da qual seu pai Lazare Carnot foi um dos fundadores, aos 16 anos e teve como professores eminentes matemáticos e cientistas. Por volta de 1820, Carnot interessou-se pelo estudo científico dos motores a vapor. Parecia-lhe decepcionante o fato de que mesmo após sucessivos aperfeiçoamentos um motor desse tipo só pudesse transformar em trabalho 3% da energia térmica consumida. Em 1824, publicou seu único trabalho, o livro Reflexões sobre Potência Motriz do Fogo e Máquinas Próprias para Realizar essa Potência. No livro, estabelece os fundamentos da Termodinâmica. Este foi o primeiro trabalho de ciência avançada motivado por um objetivo prático, e Carnot é frequentemente chamado o pai da termodinâmica.

Um pouco mais tarde e também na França, Louis Pasteur (1822-1895) iniciou a prática sistemática da ciência com o duplo propósito de entendimento dos fenômenos naturais e da aplicação prática desse conhecimento. Por quase toda a sua vida, realizou pesquisa básica inspirada no seu possível uso e após isso perseguiu o desenvolvimento da aplicação prática dos seus achados (pesquisa aplicada). Muito jovem, iniciou pesquisa em química, área na qual fez importantes descobertas. A pedido dos vinicultores franceses, estudou o azedamento dos vinhos. Descobriu que era causado por bactérias. Logo depois, verificou que o mesmo ocorria no caso da cerveja e do leite. Desenvolveu então (1864) o processo hoje denominado pasteurização, no qual o líquido é aquecido até alguma temperatura abaixo do seu ponto de ebulição e depois resfriado bruscamente. No processo, a concentração de micro-organismos no líquido se reduz drasticamente. Se após a pasteurização o vinho, a cerveja ou o leite é protegido contra nova contaminação, não azedará nem provocará doenças a pessoas. O resultado prático foi grande ganho financeiro para os produtores de leite e de bebidas fermentadas e enorme redução de doenças infecciosas. Tornou-se pioneiro na *teoria microbiana das doenças* e desenvolveu vacinas tanto para doenças bacterianas (por exemplo antraz, que ataca herbívoros e humanos) quanto para viróticas (por exemplo a raiva). Pasteur é hoje frequentemente citado como emblema de um novo tipo de cientista. Já se iniciava a II Revolução Industrial. Na Grã Bretanha Lord Kelvin, também realizava pesquisa básica inspirada pelo uso e na Alemanha os químicos orgânicos realizavam pesquisa básica que levaram às anilinas sintéticas, aos fármacos industriais e aos plásticos.

Em um tempo em que a ciência era quase inteiramente europeia, a invenção já era americana. Ainda hoje, as razões desse fenômeno são motivo de estudos e até de controvérsias, mas há pontos não controvertidos. Dentre os europeus que emigraram para os EUA, principalmente no período 1820 – 1840, havia grande quantidade de artesãos talentosos cujos ofícios tinham se tornado não competitivos na Europa devido à industrialização. Alguns deles dispunham de dinheiro bastante para abrir suas pequenas indústrias na sua nova terra e começar a fazer inovações. Além dessa circunstância, a cultura americana, desde o tempo colonial, era muito favorável ao empreendedor. Logo após a Independência, por meio do *Patent Act of 1790, An Act to promote the Progress of Useful Arts* (Uma Ação para promover o Progresso das Artes Práticas) criou-se um sistema de registro de patentes e de proteção de direitos intelectuais. Já no ano de 1791 foram registradas 33 patentes, dentre elas a do barco a vapor, criado por John Fitch (1743 – 1798). Em 1794, foi registrada a patente do descaroçador de algodão, inventado por Eli Whitney (1765 – 1825), que impulsionou a indústria algodoeira e iniciou o declínio da escravatura no sul do país. Assim, a indústria americana já começou com o genoma da inovação. Segundo a Enciclopédia Britânica, das 321 mais importantes invenções da história, 161 foram realizadas nos EUA.

A Segunda Revolução Industrial continuou até o início da Segunda Guerra Mundial. Esse ciclo industrial e tecnológico incluiu importantes avanços nas tecnologias já existentes e o surgimento de novas invenções nos campos da mecânica, da química e da nova indústria eletrotécnica. Foi inventado e desenvolvido o motor de combustão interna nos anos 1860 – 1880) por Nikolaus Otto (1832 – 1891), Karl Benz (1844 – 1929), engenheiro diplomado, Gottlieb Daimler (1834 – 1900) e outros, o que deu

origem aos automóveis e às locomotivas movidas a diesel. Teve também enorme avanço a indústria química, principalmente na Alemanha, onde surgiram as gigantes Basf (fundada em 1865), Bayer (fundada em 1863) e Hoechst (fundada em 1863). O avanço da indústria eletrotécnica deveu-se principalmente aos grandes inventores americanos Thomas Edison (1847 – 1931) (criador da General Electric – GE e da Radio Victor Company – RCA, Graham Bell (1847 – 1922), criador da American Telephone and Telegraph – AT&T, George Westinghouse (1846 – 1914), criador da Westinghouse Electric Corporation, Nikola Tesla (1856 – 1943) e Samuel Morse (1791 – 1872). Desses inventores, apenas Tesla, que inventou o sistema de geração e utilização de correntes elétricas alternadas, tinha formação científica significativa. Os outros, “tocavam de ouvido”, apoiados em extraordinária intuição sobre os fenômenos eletromagnéticos.

Durante a I Guerra Mundial, houve considerável avanço tecnológico. Mas os avanços referiram-se mais à produção em massa de artefatos de artilharia, de aviões e, principalmente no caso da Alemanha, na produção de gases letais. A ciência necessária para esses avanços geralmente já era conhecida, de modo que houve pequeno envolvimento de cientistas no esforço de guerra. Os países enviavam cientistas jovens para morrer nos *fronts*, em vez de usá-los no desenvolvimento de novos artefatos de guerra. Esse foi o caso do brilhante físico Henry Moseley que morreu na guerra em 1915, aos 27 anos. Mas a partir de 1934, vários países começaram a empreender pesquisa em dispositivos considerados importantes para uma nova guerra que se avistava como realidade num horizonte próximo. Foi o caso do radar, do sonar e de rádios com bandas de emissão e recepção mais estreita, cujo desenvolvimento prosseguiu durante a II Guerra. Todos os grandes países envolvidos na guerra desenvolveram radares e sonares e essa realização envolveu intensa pesquisa tanto em ciência básica quanto em ciência aplicada. Após a descoberta da fissão nuclear do Urânio em 1938 pelos químicos Otto Hahn (1879-1968, Nobel de química de 1944) e seu pupilo Fritz Strassmann (1902-1980), logo se percebeu o potencial uso do fenômeno na construção de armas de enorme poder. Durante a guerra, Inglaterra, Canadá, EUA Alemanha e URSS empenharam-se no esforço de desenvolver a bomba – Inglaterra e Canadá abandonaram seus projetos e colaboraram com o projeto americano. Este, o Projeto Manhattan (1942-1945), foi um *tour de force* no qual trabalharam milhares de engenheiros e cientistas (muitos deles físicos já detentores ou futuros ganhadores do prêmio Nobel) e custou cerca de US\$30 bilhões em dinheiro de hoje, aproximadamente 1% do gasto americano na guerra. Dois dos laboratórios criados no projeto, o de Los Alamos, no Novo México, e o de Oak Ridge, no Tennessee, estão ativos até hoje em pesquisa científica e tecnológica. Em todo o mundo, o povo tomou consciência do poder da ciência no desenvolvimento de novas tecnologias.

Reorganização conceitual e institucional da pesquisa no pós-guerra

Em novembro/1944, Vannevar Bush, director do Office of Scientific Research and Development, criado em julho/1941, convenceu Roosevelt da importância de se criar um sistema federal de financiamento da ciência para a época de paz. Com a informalidade que lhe era típica, Roosevelt pediu que o próprio Bush redigisse uma

carta do Presidente encomendando a Bush a delimitação do referido sistema. De posse da carta assinada, Bush, engenheiro do MIT com grande conhecimento das relações entre ciência e tecnologia, formou uma comissão e iniciou o trabalho. Em julho/1945, Bush entregou a Truman o relatório *Science, the Endless Frontier* (Ciência, a Fronteira sem Fim), que por décadas influenciou enormemente a ciência não só nos EUA, mas em todo o mundo. O relatório pode ser acessado no link <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>. O relatório, com uma apresentação de Brito Cruz pode ser visto em (Brito Cruz 2014). Bush formula um sistema conceitual e institucional para a estruturação da ciência americana, apoiado nas duas seguintes considerações:

1 – A pesquisa básica é realizada sem se pensar em fins práticos;

2 – O investimento em ciência básica dará retorno em tecnologia à medida que os avanços da ciência forem convertidos em inovações tecnológicas (Bush usou outro palavreado para expressar esta ideia).

Como Bush disse literalmente em outra parte do texto, a pesquisa básica é percursora do progresso tecnológico. Ao longo da exposição, Bush deixa clara a sua convicção de que as duas categorias ciência básica (termo cunhado por ele) e ciência aplicada não se devem misturar no mesmo empreendimento, pois preocupação prematura com o uso do conhecimento pode tirar a criatividade e liberdade do pesquisador. Contudo, isso não impede que ciência básica e ciência aplicada sejam realizadas na mesma instituição. O relatório Bush contém a visão que se tornou consensual entre os administradores de Pesquisa e Desenvolvimento, a da existência de uma cadeia linear que vai da ciência básica aos produtos e processos:

Pesquisa básica → Pesquisa Aplicada → Desenvolvimento → Produção e operações

Na proposta institucional de Bush, ele aponta o risco e a inconveniência de que por meio das suas agências o governo pudesse limitar a liberdade do cientista na escolha dos seus temas e dos seus métodos de pesquisa. Essa cautela contra possíveis excessos de dirigismo acabou sendo adotada em todos os países democráticos que montaram sistemas de apoio logístico e financeiro à pesquisa científica. Embora seja usual que as agências de fomento abram “chamadas” para áreas específicas eleitas como estratégicas, parte substantiva dos recursos é destinada às chamadas universais, nas quais o único critério de aprovação das solicitações de auxílio é a excelência científica do proponente e do seu projeto.

O Relatório Bush gerou longas discussões no Congresso, até que em 1950 iniciou-se a criação do sistema institucional para a realização da ciência americana. Nesse ano criou-se a National Science Foundation que com um orçamento atual de US\$7,7 bilhões financia 24% da ciência nas universidades. O National Institute of Health, criado em 1930, virou National Institutes of Health e foi enormemente ampliado. Hoje, com orçamento de US\$32 bilhões, o NIH realiza pesquisa intramuros em 27 institutos temáticos e financia 28% da pesquisa biomédica em universidades e centros de pesquisa fora desses institutos. O Naval Research Laboratory, do Departamento da Defesa (DOD), existente desde 1923, foi fortalecido e realiza pesquisa básica de ponta e também pesquisa aplicada. O prêmio Nobel de química de 1985 foi conquistado por pesquisa básica realizada no NRL e neste laboratório foi também inventado o GPS em 1967. Em 2013, o DOD gastou US\$2,092

bilhões em ciência básica (US\$1,221 bilhões em universidades) e US\$4,677 bilhões em pesquisa aplicada (US\$554 milhões em universidades).

Uma demonstração emblemática da crença no paradigma de Bush de que a ciência básica é a precursora das tecnologias foi a reação do governo americano ao lançamento do Sputnik em 1957. O repetitivo “beep” que por semanas chegava do espaço alarmou o governo e a população. O feito foi interpretado como indicação de que a ciência russa estivesse superando a americana, e todo um conjunto de ações foi arquitetado para fortalecer a ciência do país em busca da vanguarda (https://en.wikipedia.org/wiki/Sputnik_crisis). Por meio do *National Defense Education Act* – NDEA (2/1958) foram criados fundos para a educação em todos os níveis ([https://en.wikipedia.org/.../National_Defense Educat...](https://en.wikipedia.org/.../National_Defense_Educat...)). Segundo a Enciclopedia Britannica ([https://en.wikipedia.org/.../National_Defense Educat...](https://en.wikipedia.org/.../National_Defense_Educat...)), “*The NDEA stands as a major act of reform. It marked the beginning of large-scale involvement of the U.S. federal government in education*” (O NDEA representa uma grande ação de reforma. Ele marcou o início do envolvimento em larga escala do governo federal dos EUA em educação). O orçamento da NSF foi também aumentado para financiar a ciência básica nas universidades. Em 29/julho/1958, foi criada a NASA – National Aeronautics and Space Administration (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço), de caráter civil e vinculada diretamente à Presidência da República).

A Segunda Guerra gerou reorganização da ciência e do seu financiamento pelo Estado em muitos países democráticos. Na França, o CNRS – *Centre national de la recherche scientifique* (Centro Nacional de Pesquisa Científica) foi criado em 19/10/1939, logo após o início da guerra. Com um orçamento atual de €3,4 bilhões, o CNRS é a maior organização de pesquisa básica da Europa. Mantém 10 institutos próprios e realiza pesquisa também em colaboração com as universidades.

Na Alemanha, a Sociedade Kaiser Wilhelm, uma organização não governamental de instituições de pesquisa criada em 1911, foi em 1948 transformada na Sociedade Max Planck, financiada quase totalmente pelo governo com um orçamento de €1,7 bilhões em 2015. A Sociedade opera 83 institutos (7 nos EUA e 3 na Ásia) dedicados muito prioritariamente a pesquisas básicas que levaram a 33 prêmios Nobel concedidos a seus cientistas. A pesquisa aplicada alemã é principalmente realizada pelos 67 institutos membros da Associação Fraunhofer, fundada em 1949 e que congrega 67 institutos dedicados a resolver gargalos tecnológicos da indústria alemã. 70% da sua receita vem de contratos com as empresas ou o governo e 30% vem de dotações governamentais (90% federais) destinadas ao apoio de pesquisas preparatórias, inspiradas pelo uso. O Reino Unido não formulou grandes programas de apoio à ciência básica no pós-guerra. Com o estilo britânico de sempre, todavia, a ciência básica do Reino Unido ainda compete com igualdade, talvez com vantagem com qualquer outra ciência europeia. Tem 97 ganhadores de prêmio Nobel de ciências, o que deve ser comparado com os 81 da Alemanha, 56 da França, 21 do Japão e 330 dos EUA. Ou seja, o Reino Unido tem o maior número per capita de ganhadores do Nobel. As empresas despendem pouco em P&D e somando tudo o Reino Unido despendeu em 2015 apenas 1,667% do PIB em P&D, bem abaixo da média de 2,38% dos países da OECD. A indústria britânica tornou-se pouco inovadora.

A trajetória do Japão em pesquisa e desenvolvimento no pós-guerra também foi bem distinta. A recuperação econômica do país foi comandada pelo Ministério da Indústria e Comércio Exterior (MITI para as iniciais em Inglês). Até os anos 1970, o MITI era tão poderoso que o Primeiro Ministro do Japão costumava ser um ex-ministro do MITI. O lene artificialmente desvalorizado e fortes subsídios financeiros à indústria pelo Banco do Desenvolvimento do Japão, criado pelo MITI em 1951, alavancaram o hoje chamado milagre japonês. Com as referidas vantagens, o país foi o grande exportador do mundo até a emergência da China e dos outros tigres asiáticos. Até hoje o Japão investe mais em P&D do que qualquer outra potência econômica, 3,48 % do PIB em 2015, segundo a OCDE, bem acima dos EUA (2,74%), Alemanha (2,89%), França (2,26%), e China (2,05%). Mas a maior parte dos recursos é destinada à pesquisa aplicada realizada pelas empresas. O governo dá apoio relativamente modesto à ciência básica e por isso a ciência básica japonesa não tem a pujança da pesquisa aplicada, que se apoia fortemente na ciência gerada nos EUA e Europa. Essa prática, considerada desleal pelas outras potências, acabou gerando considerável redução no esforço das empresas europeias e americanas em ciência básica a partir dos anos 1980. Merece destaque o desempenho da Sony – fundada em 1946 pelo engenheiro Masaru Ibuka (1908 – 1997) e pelo físico Akio Morita (1925 – 1999), talvez a empresa japonesa que mais valorizou a ciência básica inspirada pelo uso. A Sony foi pioneira no uso de semicondutores na eletrônica. Em 1955, produziu o primeiro rádio transistorizado e em 1957 produziu o primeiro radinho transistorizado de bolso. Para tanto, obteve licença da Western Electric para usar o transistor de germânio, excessivamente ruidoso, e desenvolveu o transistor de silício, usado até hoje no mundo todo. Foi também pioneira no desenvolvimento do videocassete, no famoso walkman, no disco flexível de 3,5 polegadas e no CD. Em 1958, o físico Leo Esaki (1925 –), pesquisador da Sony, observou o tunelamento eletrônico em barreiras de potencial e baseado nele inventou o diodo túnel, hoje chamado diodo Esaki, que lhe rendeu o Nobel de física em 1973 (Morita 1986). Outro feito científico e tecnológico de enorme importância realizado em uma empresa japonesa foi a invenção do LED (diodo emissor de luz) azul por Shuji Nakamura (1954 –) quando ele trabalhava na Nichia Corporation. Nakamura aventurou-se na tentativa de desenvolver LED baseado em nitreto de gálio (GaN), um empreendimento considerado de alto risco pela empresa. Segundo ouvi de Nakamura em uma palestra, a empresa passava por dificuldades financeiras e no seu ver se ele sucedesse no projeto ela se recuperaria. O resultado foi um sucesso e constitui a base dos LED de luz branca com alta eficiência, que possibilitam grande economia de energia elétrica. A Nichia é a maior fabricante mundial de lâmpadas de LED. Nakamura ganhou um bônus de U\$7 milhões da Nichia, hoje trabalha na Universidade da Califórnia em Santa Bárbara e ganhou o Nobel de Física em 2014. Um final feliz para todos, inclusive eu e o leitor.

Liderados pela Toyota, os japoneses revolucionaram a indústria automobilística criando a produção enxuta, que tornou obsoleta a produção em massa introduzida por Henry Ford (Womack 1992, Hino 2006). A produção enxuta envolve vários novos conceitos industriais, como componentes projetadas pelos próprios fornecedores, preço do componente fixado pela montadora e concorrência baseada na qualidade, não no preço, controle de qualidade total e o sistema *just in time* (na hora certa) de fornecimento de componentes.

Envolvimento das empresas com ciência básica

Algumas empresas europeias têm um histórico relevante de envolvimento com a ciência básica. Destaque deve ser dado à Siemens e à Philips. Ao envolver-se com sistemas de gravação magnética, a Philips passou a realizar intensa pesquisa básica na área de magnetismo e importantes avanços experimentais e teóricos nessa área foram obtidos no seu Laboratório de Pesquisa em Física. Em 1948, um ano após a formulação da eletrodinâmica quântica (QED), Hendrik Casimir (1909 – 2000), pesquisador teórico do Laboratório, previu o hoje chamado efeito Casimir. Em consequência das flutuações do vácuo previstas pela QED, duas placas metálicas posicionadas paralelamente muito próximas uma da outra, sofreriam uma fraca atração. O efeito só pôde ser confirmado experimentalmente em 1997. Em 1958, outro pesquisador do Laboratório, Leo van der Pauw demonstrou um belíssimo teorema sobre correntes elétricas com base no qual criou o método van der Pauw, hoje usado rotineiramente para a medida da mobilidade e do coeficiente Hall de pastilhas semicondutoras a serem usadas em circuitos microeletrônicos (sbfisica.org.br/rbef/pdf/060903.pdf).

Mas as empresas americanas foram e ainda são as líderes na pesquisa básica. Já em 1927, Clinton Davisson (1888 – 1958) completou experimentos no célebre Bell Laboratories, da AT&T, que demonstraram a difração de elétrons em cristais, o que confirmou diretamente a hipótese da dualidade onda partícula, um dos grandes fundamentos da mecânica quântica. Davisson ganhou o Nobel de Física em 1937. No total, 8 trabalhos realizados no Bell Labs foram reconhecidos com o prêmio Nobel, alguns deles sem qualquer relação direta com a atividade da AT&T. No Bell Labs foram desenvolvidos todos os lasers importantes de gases e os lasers de semicondutores foram aprimorados o bastante para uso em telecomunicações por fibras ópticas. De grande importância científica e tecnológica foi também o desenvolvimento no Bell Labs dos lasers de pulsos ultracurtos (duração de alguns femtossegundos – milésimo de trilhionésimo de segundo) que possibilitaram o acompanhamento das reações químicas (femtoquímica), o que rendeu a Ahmed Zewail (1946 – 1991), do Caltech, o Nobel de Química de 1999. No laboratório foram também inventados o transistor e o dispositivo CCD (Coupled Charge Devices), o sensor de imagens das câmaras CCD. Os chamados dispositivos SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices) são magnetômetros de altíssima sensibilidade e também de importância fundamental para a metrologia científica. Há dois tipos de Squid, o de corrente contínua (DC) e o de rádio frequência (RF). O tipo DC foi inventado no Bell Labs e o tipo RF, nos Laboratórios de Pesquisa da Ford. A radiação cósmica de fundo, que comprova a ocorrência do Big Bang, foi descoberta no Bell Labs.

A IBM realizou importante pesquisa básica tanto nos EUA quanto no seu laboratório de Zurique. Os prêmios Nobel de Física de 1986 e de 1987 foram concedidos por trabalhos realizados no laboratório de Zurique. O de 1986 reconhece a invenção do Microscópio de Tunelamento de Varredura, a principal ferramenta no desenvolvimento na nanociência e nanotecnologia. O físico e químico Irving Langmuir (1881 – 1957) trabalhou na General Electric de 1909 a 1950 e ali realizou trabalhos

teóricos e experimentais de grande importância. Em 1932 ganhou o Nobel de Química por seus trabalhos em físico-química de superfícies. Sua descoberta de que o gás de elétrons em um sólido pode ter uma temperatura distinta da temperatura dos átomos do sólido tem grande importância na física de dispositivos eletrônicos. O primeiro laser, de rubi, foi inventado no Hughes Research Laboratory, da Hughes Aircraft. Este laboratório empreendeu também intensa pesquisa básica inspirada pelo uso que levou a importantes avanços em sensores de infravermelho e dispositivos de visão noturna. Na Texas Instruments foi realizada intensa pesquisa básica e aplicada. Destaca-se que ali foi fabricado em 1960 o primeiro circuito integrado, por Jack Kilby, que ganhou por isso o Nobel de Física em 2000. Destaca-se também o intenso trabalho de pesquisa pura e aplicada realizada na Hewlett-Packard, fundada em 1939 por dois engenheiros formados na Universidade de Stanford, e pela Intel, fundada em 1968 por um químico e um físico, e pela Xerox.

A decifração do código genético – o conjunto de regras pelas quais as sequências dos 4 nucleotídeos no DNA são transcritas nos 20 aminoácidos que compõem as proteínas nos anos 1960, completada por Har Gobind Khorana (1922 – 2011), Marshall W. Nirenberg (1927 – 2010) e Robert W. Holley (1922 – 1993), que compartilharam o Nobel de Medicina de 1968, deflagrou a pesquisa básica e aplicada, que levou às vastas disciplinas que compõem a biotecnologia. James Watson, que em 1953, junto com Francis Crick decifrou a estrutura em hélice dupla do DNA, publicou em 2003 uma magnífica história do DNA, grande parte dela dedicada à biotecnologia (Watson 2005). Tudo começou com o desenvolvimento da técnica do DNA recombinante, ou seja, dos procedimentos pelos quais fragmentos do DNA de um organismo são inseridos no DNA de outro, feito em 1971 por Herbert Boyer (1936 –), na época jovem docente da Universidade da Califórnia em São Francisco, e Stanley Norman Cohen (1935 –) – não confundir com Stanley Cohen prêmio Nobel de Medicina de 1986 –, na época e até hoje docente da Universidade de Stanford. Em 1976, Boyer fundou a Genentech, a primeira empresa de biotecnologia, desde 2009 controlada pela La Roche. O primeiro grande feito da Genentech foi usar o DNA recombinante para produzir insulina sintética. O método revelou-se superior a outro desenvolvido pela Biogen, empresa de biotecnologia criada em 1978 por Walter Gilbert (1932 –), Nobel de Química de 1980, e outros bioquímicos notáveis. A Genentech produz alguns dos mais eficientes medicamentos anticâncer, como o Herceptin e o Tykerb.

Gilbert é inteiramente singular em trafegar em diferentes campos da ciência e tecnologia. Completou o doutorado em 1957 em teoria quântica de campos, o mais fundamental dos ramos da ciência, sob orientação de Abdus Salam (1926 –1996), prêmio Nobel de Física de 1979. Seu trabalho em física foi precursor importante da previsão teórica do bóson de Higgs, descoberto em 2013 e que levou ao Prêmio Nobel de Física no mesmo ano aos seus precursores. Gilbert virou amigo de James Watson e a partir de então tornou-se geneticista, bioquímico e biólogo molecular. Desenvolveu um novo método de sequenciamento de DNA e participou do Projeto Genoma Humano como um dos seus primeiros proponentes. Ganhou o Nobel de Química de 1980. Foi cofundador de três empresas de biotecnologia, a Biogen (1978), primeira empresa a produzir insulina sintética, a Myriad Genetics (1992) e a Paratek Pharmaceuticals (1996). A Myriad, dedicada à terapia gênica, descobriu que certas mutações nos genes BRCA1 e BRCA2 – codificadores de proteínas reparadoras de

células cancerosas das mamas – levam à produção de proteínas não efetivas na sua função reparadora, o que aumenta enormemente a chance de câncer de mama.

O Projeto Genoma Humano, iniciado em 1990 por um consórcio público internacional, abriu espaço para a criação de várias empresas. Cabe destacar, nesse contexto, o papel de John Craig Venter (1946 –), pesquisador do NIH. Em 1998, Venter abandonou o consórcio, criou a Celera Genomics e aventurou-se numa disputa pessoal pelo sequenciamento do genoma, empregando um método distinto e à primeira vista excessivamente arriscado. Em 2003, concluiu, ao mesmo tempo que o pessoal do consórcio e a um custo pelo menos cinco vezes menor, o trabalho de sequenciamento. No meio do caminho, vendeu resultados parciais a laboratórios farmacêuticos. Venter é o personagem mais citado do livro DNA de Watson, e não raro as citações traem, no conhecido estilo de Watson, certo ressentimento com o incômodo e audacioso concorrente. Venter criou ainda a empresa Synthetic Genomics e o Institute for Genomic Research, dedicado a ciência básica na área.

Talvez caiba neste ponto algumas considerações sobre um tema que sai do escopo específico deste artigo, dada a sua relevância humana. A indústria dos organismos (plantas, mamíferos, micróbios) geneticamente modificados (GM) floresceu nas últimas duas décadas, numa interação muito fértil entre ciência básica e pesquisa aplicada. Há benefícios inegáveis para a sociedade, e esses benefícios podem se mostrar vitais com o agravamento das atuais mudanças climáticas, pois plantas alimentícias GM podem ser desenvolvidas para aumento de produtividade, resistência a doenças e pesticidas, e adaptação a solos secos ou salgados, além de tolerância a temperaturas muito quentes ou frias. Mas há também preocupação com riscos teóricos dessa alteração de genomas que evoluíram lentamente por seleção natural. A questão é controversa. Mas “The American Association for the Advancement of Science, the American Medical Association and the National Academy of Sciences have all unreservedly backed GM crops. The U.S. Food and Drug Administration, along with its counterparts in several other countries, has repeatedly reviewed large bodies of research and concluded that GM crops pose no unique health threats. (A Sociedade Americana para o Avanço da Ciência, a Sociedade Americana de Medicina e a Academia Nacional de Ciências, todas têm apoiado sem reservas alimentos GM. A Administração Americana de Alimentos e Drogas, junto com seus análogos em vários outros países, têm repetidamente revisto grande massa de pesquisa e concluído que alimentos GM não representam qualquer ameaça)” (Freedman 2013). Por cerca de 10 milênios, o homem tem modificado muito significativamente o genoma de animais e plantas por seleção artificial e cruzamentos seletivos, sem danos conhecidos à saúde do homem e de animais. Há pelo menos 6 mil anos, os índios mexicanos desenvolveram o milho a partir do teosinto (Mann 2007), uma gramínea nativa no México e América Central com espigas de 2,5 cm contendo uma dúzia de pequenos grãos duros e pouco nutritivos. Segundo a geneticista Nina Fedoroff este foi o primeiro e defensavelmente o maior feito do homem em engenharia genética (Fedoroff 2003).

Nas últimas quatro décadas, a área de informática teve um crescimento explosivo, associado à criação dos *personal computers* (PC). A expansão do setor também se associou a avanços na internet e na telefonia móvel. PC, WWW e telefonia móvel imbricaram-se num tecido que mudou o mundo, a vida das pessoas e a maneira de fazer negócios. A WWW foi criada em 1989 por Tim Berners Lee (1955 –) para

compartilhamento de dados pelos pesquisadores do CERN, o maior centro de pesquisa em física de partículas do mundo, sediado em Genebra, operado por um consórcio internacional governamental. Ela funciona pelo sistema de hipertexto, pioneiramente concebido por Vannevar Bush em 1945, no qual uma rede de computadores e outros recursos identificados por um endereço (sua URL) se comunicam. Esse sistema imbricado abriu oportunidade para o surgimento de muitas empresas criadas por inventores de hardwares e/ou formuladores de programas, sistemas operacionais, navegadores de web (*browsers*) e quetais. Várias dessas empresas tornaram-se multinacionais gigantes. A Apple, criada em 1976 por Steve Jobs (1955 – 2011) e Steve Wozniack, é hoje a maior empresa do mundo em valor de mercado. Criou o PC Macintosh (1984), os smartphones iPod o iPhone e o iPad, o sistema operacional móvel Android, hoje usado na maioria dos smartphones. A Microsoft, fundada em 1975 por Paul Allen (1953 –) e Bill Gates (1955 –), criou o Microsoft Windows, uma família de sistemas operacionais usada pela maioria dos PC do mundo. A Google, fundada em 1998 por Larry Page (1973 –) e Sergey Brin (1973 –), dois doutorandos na Stanford, criou um poderoso sistema de busca e organização de informações disponíveis na internet, hoje usado por dois terços das pessoas que buscam tais informações. Em 2004, Mark Zuckerberg (1984 –) e outros colegas de Harvard criaram o Facebook, a maior rede social do mundo, usada por 1,65 bilhões de usuários cadastrados e com valor de mercado em agosto de 2016 de US\$250 bilhões. Com uma fortuna (agosto de 2016) de US\$53,4 bilhões, Zuckerberg é o 5º homem mais rico do mundo.

.

Revisão de conceitos básicos do Relatório Bush

A conceituação da pesquisa exposta no Relatório Bush, apesar da sua enorme influência positiva sobre a institucionalização da pesquisa básica e aplicada no pós-guerra, não descreve de maneira completa o espaço em que se situa a pesquisa. Donald Stokes revê criticamente o relatório (Stokes 2005) e argumenta que uma melhor conceituação é obtida no espaço bidimensional concebido por ele e apresentado na figura abaixo (Stokes 2005, p.118). Os eixos desse espaço são a motivação que inspira a pesquisa. No eixo vertical posiciona-se a busca ou não do entendimento fundamental; no horizontal, as considerações de uso. No quadrante superior esquerdo está o que Stokes denominou quadrante de Bohr (QB), o da pesquisa inspirada pela busca do entendimento fundamental, sem considerações de uso. No quadrante superior direito, quadrante de Pasteur (QP), a pesquisa busca o entendimento fundamental inspirada pelo uso.

Pesquisa inspirada por:

		Considerações de uso?	
		Não	Sim
Busca de entendimento fundamental?	Sim	Pesquisa básica pura (Bohr)	Pesquisa básica inspirada pelo uso (Pasteur)
	Não		Pesquisa aplicada pura (Edison)

No quadrante inferior direito, quadrante de Edison (QE), a pesquisa é inspirada por considerações de uso, sem busca de entendimento fundamental. No último quadrante, nem a busca do entendimento fundamental nem considerações de uso são a motivação do trabalho. O melhor exemplo desse tipo de pesquisa que consigo citar é a relatada nos artigos da revista National Geographic. Talvez Rutherford chamasse pejorativamente esse quadrante de “coleção de selos”.

De forma direta ou indireta, todos esses quadrantes se interligam por relações de causalidade. A mecânica quântica, (QB) parece muito distante do quadrante de Edison. Entretanto, mais de um terço do Pib americano é hoje decorrente de tecnologias baseadas na mecânica quântica. O percurso da pesquisa do quadrante de Bohr ao quadrante de Edison pode passar pelo quadrante de Pasteur, como aconteceu na invenção do transistor, para o qual a pesquisa de William Shockley sobre elétrons e buracos em semicondutores foi seminal. Às vezes ocorre um salto direto do quadrante de Bohr ao quadrante de Edison. Um exemplo é a o trabalho de Einstein sobre emissão estimulada de luz, feito em 1917 sem qualquer consideração de uso, que levou ao maser e ao laser quatro décadas depois. Outro exemplo é o trabalho de Brian D. Josephson (1940 –), prêmio Nobel de Física em 1973, realizado em 1962, sobre correntes elétricas em um anel supercondutor com uma barreira de potencial (QB). O trabalho levou à descoberta do efeito Josephson, que inspirou diretamente a construção dos SQUID (*superconducting quantum interference devices*), conseguida uma década depois. O caminho inverso também é frequente, quando a invenção de equipamentos (QE) possibilita novas pesquisas fundamentais (QB). Como exemplo, podemos citar o laser, usado nos anos 1990 para o resfriamento de átomos e logo após à observação da condensação de Bose-Einstein (QB) . O laser possibilitou também o desenvolvimento da femtoquímica (QB), além de inúmeras novas tecnologias na medicina, nas telecomunicações, no comércio (código de barras) e na engenharia.

À primeira vista, pode parecer que o quadrante inferior esquerdo não se conecta por relações de causalidade aos outros quadrantes. Mas isso é falso. Voltando aos documentários publicados na National Geographic, por um lado eles podem levar a melhor manejo do meio ambiente (QE). Esse tipo de informação bruta, sem qualquer pretensão científica ou tecnológica, pode também levar a avanços no quadrante de Bohr. Por exemplo, a Etologia, ciência do comportamento animal, nasceu da observação como *hobby* desse comportamento. E a história não se encerrou nesse nível. Ela levou à busca do papel adaptativo, no sentido darwiniano, do comportamento animal e humano, que resultou nas ciências Sociobiologia e Psicologia Evolucionista, com seus pés mais profundamente fincados no quadrante Bohr.

A conceituação de Stokes, da pesquisa básica e aplicada, que supera a visão unidimensional e bipolar entre pesquisa básica e pesquisa aplicada, é muito útil para a compreensão das complexas relações entre ciência e tecnologia e da evolução histórica dessas categorias de conhecimento. Pode também revelar-se útil na formulação de políticas e institucionalização da pesquisa científica e tecnológica. Brito Cruz (2016) aponta ações recentes nesse sentido para o caso da ciência universitária https://www.researchgate.net/publication/306356343_University_research_comes_in_many_shapes?ev=prf_pub.

Referências

- Basalla, George 1988. *The Evolution of Technology*. Cambridge University Press.
- Brito Cruz, C. H. Revista Brasileira de Inovação, v.13, n.2 (2014).
- Bronowski, J. 1979. *A Escalada do Homem*. Editora Universidade de Brasília.
- Cardwell, Donald 1995. *Wheels, Clocks and Rockets: a History of Technology*. W. W. Norton & Company.
- Federoff, Nina V. 2003. *Prehistoric GM corn*. Science, vol. 302, 14 November 2003, p. 1158.
- Freedman, David H 2013. *The truth about genetically modified food*. Scientific American
- Hino, Satoshi 2006. *O Pensamento Toyota*. Artmed Editora.
- Mann, Charles C. 2007. 1491: Novas revelações das Américas antes de Colombo. Objetiva.
- Morita, Akio 1986. *Made in Japan: Akio Morita e a Sony*. Livraria Cultura Editora.
- Stokes, Donald E. 2005. *O Quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica*. Editora Unicamp.
- Watson, James D. 2005 *DNA: o segredo da vida*. Companhia das Letras.

Womack, James P., Jones, Daniel T., Roos, Daniel 1992. A Máquina que Mudou o Mundo, 3a Edição. Editora Campus.