

Manuel Castells

A SOCIEDADE EM REDE
Volume I

8ª edição totalmente revista e ampliada

Tradução: Roneide Venancio Majer
com a colaboração de Klauss Brandini Gerhardt

SBD-FFLCH-USP



PAZ E TERRA

~~de êxito era baixíssimo. Assim, os pesquisadores médicos começaram a experimentar outras ferramentas, como os minúsculos glóbulos de gordura criados para transportar agentes supressores de tumores diretamente aos tumores cancerosos, tecnologia usada por empresas como a Valentis e Transgene. Alguns biólogos acham que essa mentalidade de engenharia (um alvo, um mensageiro, um impacto) não leva em consideração a complexidade da interação biológica, com os organismos vivos se adaptando a vários ambientes e alterando seu comportamento previsto.⁶¹~~

~~Se e quando a terapia genética começar a produzir resultados, a meta primordial da terapia médica genética é a prevenção; isto é, identificar defeitos genéticos no espermatozoide e nos óvulos humanos e agir como transportadores humanos, antes que apresentem a doença programada, eliminando assim a deficiência genética da mãe e do filho, enquanto ainda é tempo. Naturalmente essa perspectiva é tão promissora quanto perigosa.~~

~~Lyon e Gorner concluem sua pesquisa bem equilibrada sobre os desenvolvimentos da engenharia genética humana com uma previsão e uma advertência.~~

~~Em algumas gerações, poderíamos banir certas doenças mentais, diabetes, hipertensão ou quase qualquer outra enfermidade. Não devemos nos esquecer de que a qualidade das decisões tomadas dirá se as escolhas a serem feitas serão sábias e justas... O modo um tanto inglorio pelo qual os cientistas e a elite dominante estão tratando os primeiros frutos da terapia genética é ominoso. Nós, humanos, atingimos um tal ponto de desenvolvimento intelectual que, relativamente logo, conseguiremos compreender a composição, função e dinâmica do genoma na maior parte de sua complexidade intimidante. Emocionalmente, porém, ainda somos primatas, com toda a bagagem comportamental pertinente. Talvez a melhor forma de terapia genética para nossa espécie fosse superar nossa herança inferior e aprender a aplicar os novos conhecimentos sábia e benignamente.⁶²~~

~~Todas as indicações apontam para uma explosão de aplicações na virada do milênio, que desencadeará um debate fundamental na fronteira, atualmente obscura, entre a natureza e a sociedade.~~

O contexto social e a dinâmica da transformação tecnológica

Por que as descobertas das novas tecnologias da informação concentraram-se em um só lugar nos anos 70 e, sobretudo, nos Estados Unidos? E quais são as

consequências dessa concentração em determinado tempo e lugar para o desenvolvimento futuro das novas tecnologias e sua interação com as sociedades? Seria tentador relacionar a formação desse paradigma tecnológico diretamente às características de seu contexto social, em particular, se relembarmos que, em meados da década de 1970, os EUA e o mundo capitalista foram sacudidos por uma grande crise econômica, exemplificada (mas não causada) pela crise do petróleo, em 1973-74. Essa motivou uma reestruturação drástica do sistema capitalista em escala global e, sem dúvida, induziu um novo modelo de acumulação em descontinuidade histórica com o capitalismo pós-Segunda Guerra Mundial, conforme propus no prólogo desta obra. O novo paradigma tecnológico foi uma resposta do sistema capitalista para superar suas contradições internas? Ou, alternativamente, terá sido uma forma de assegurar a superioridade militar sobre os rivais soviéticos, em resposta a seu desafio tecnológico na corrida espacial e nuclear? Nenhuma das explicações parece ser convincente. Embora haja coincidência histórica entre a concentração de novas tecnologias e a crise econômica da década de 1970, sua sincronia foi muito próxima, e o “ajuste tecnológico” teria sido demasiadamente rápido e mecânico quando comparado ao que aprendemos com as lições da revolução industrial e de outros processos históricos de transformação tecnológica: os caminhos seguidos pela indústria, economia e tecnologia são, apesar de relacionados, lentos e de interação descompassada. Quanto ao argumento militar, o choque causado pelo Sputnik (entre 1957-60) foi respondido em espécie pela explosão tecnológica dos anos 60, não dos 70; e o novo e importante impulso da tecnologia militar norte-americana foi dado em 1983 com o programa “Guerra nas Estrelas”, que, na verdade, utilizava e expandia as tecnologias da prodigiosa década anterior. E embora a Internet tenha tido origem nas pesquisas patrocinadas pelo Departamento de Defesa, só muito mais tarde veio a ser de fato usada em aplicações militares; mais ou menos na mesma época começou a se difundir em redes da contracultura.

De fato, parece que o surgimento de um novo sistema tecnológico na década de 1970 deve ser atribuída à dinâmica autônoma da descoberta e difusão tecnológica, inclusive aos efeitos sinérgicos entre todas as várias principais tecnologias. Assim, o microprocessador possibilitou o microcomputador; os avanços em telecomunicações, mencionados anteriormente, possibilitaram que os microcomputadores funcionassem em rede, aumentando assim seu poder e flexibilidade. As aplicações dessas tecnologias na indústria eletrônica ampliaram o potencial das novas tecnologias de fabricação e *design* na produção de semicondutores. Novos *softwares* foram estimulados pelo crescente mercado de microcomputadores que, por sua vez, explodiu com base nas novas aplicações e tecnologias de

fácil utilização, nascidas da mente dos inventores de *software*. A ligação de computadores em rede expandiu-se com o uso de programas que viabilizaram uma teia mundial voltada para o usuário. E assim por diante.

O forte impulso tecnológico dos anos 60 promovido pelo setor militar preparou a tecnologia norte-americana para o grande avanço. Mas a invenção do microprocessador por Ted Hoff, enquanto tentava atender ao pedido de uma empresa japonesa fabricante de calculadoras de mão em 1971, resultou dos conhecimentos e habilidades acumulados na Intel, em uma estreita interação com o meio de inovação criado desde 1950, no Vale do Silício. Em outras palavras, a primeira revolução em tecnologia da informação concentrou-se nos Estados Unidos e, até certo ponto, na Califórnia nos anos 70, baseando-se nos progressos alcançados nas duas décadas anteriores e sob a influência de vários fatores institucionais, econômicos e culturais. Mas não se originou de qualquer necessidade preestabelecida. Foi mais o resultado de indução tecnológica que de determinação social. Todavia, uma vez que começou a existir como sistema com base na concentração descrita, o desenvolvimento dessa revolução, suas aplicações e, em última análise, seu conteúdo foram decisivamente delineados pelo contexto histórico em que se expandiu. Na verdade, na década de 1980, o capitalismo (especificamente: as principais empresas e governos dos países do G-7) passou por um processo substancial de reestruturação organizacional e econômica no qual a nova tecnologia da informação exerceu um papel fundamental e foi decisivamente moldada pelo papel que desempenhou. Por exemplo: o movimento empresarial que conduziu à desregulamentação e liberalização da década de 1980 foi decisivo na reorganização e crescimento das telecomunicações, sobretudo depois do desmembramento da ATT, em 1984. Por sua vez, a disponibilidade de novas redes de telecomunicação e de sistemas de informação preparou o terreno para a integração global dos mercados financeiros e a articulação segmentada da produção e do comércio mundial, como analisarei no capítulo 2.

Assim, até certo ponto, a disponibilidade de novas tecnologias constituídas como um sistema na década de 1970 foi uma base fundamental para o processo de reestruturação socioeconômica dos anos 80. E a utilização dessas tecnologias na década de 1980 condicionou, em grande parte, seus usos e trajetórias na década de 1990. O surgimento da sociedade em rede, que tentarei analisar nos capítulos seguintes deste volume, não pode ser entendido sem a interação entre estas duas tendências relativamente autônomas: o desenvolvimento de novas tecnologias da informação e a tentativa da antiga sociedade de reaparelhar-se com o uso do poder da tecnologia para servir a tecnologia do poder. Contudo, o resultado histórico dessa estratégia parcialmente consciente é muito indeterminado, visto

que a interação da tecnologia e da sociedade depende de relações fortuitas entre um número excessivo de variáveis parcialmente independentes. Sem necessidade de render-se ao relativismo histórico, pode-se dizer que a revolução da tecnologia da informação dependeu cultural, histórica e espacialmente de um conjunto de circunstâncias muito específicas cujas características determinaram sua futura evolução.

Modelos, atores e locais da revolução da tecnologia da informação

Se a primeira Revolução Industrial foi britânica, a primeira revolução da tecnologia da informação foi norte-americana, com tendência californiana. Nos dois casos, cientistas e industriais de outros países tiveram um papel muito importante tanto na descoberta como na difusão das novas tecnologias. A França e a Alemanha foram fontes importantes de talentos e aplicações da Revolução Industrial. As descobertas científicas originadas na Inglaterra, França, Alemanha e Itália constituíram a base das novas tecnologias de eletrônica e biologia. A capacidade das empresas japonesas foi decisiva para a melhoria do processo de fabricação com base em eletrônica e para a penetração das tecnologias da informação na vida cotidiana mundial mediante uma série de produtos inovadores como videocassetes, fax, *videogames* e *bips*.⁶³ Na verdade, na década de 1980, as empresas japonesas atingiram o domínio da produção de semicondutores no mercado internacional, embora, em meados da década de 1990, as empresas norte-americanas já tivessem reassumido a liderança competitiva. O setor como um todo evoluiu rumo a interpenetração, alianças estratégicas e formação de redes entre empresas de diferentes países, como vou analisar no capítulo 3. Isso tornou a distinção por nacionalidade um pouco menos importante. As empresas, instituições e inovadores norte-americanos não só participaram do início da revolução da década de 1970 como também continuaram a representar um papel de liderança na sua expansão, posição que provavelmente se sustentará ao entrarmos no século XXI. Mas, sem dúvida, testemunharemos uma presença cada vez maior de empresas japonesas, chinesas, indianas e coreanas, assim como contribuições significativas da Europa em biotecnologia e telecomunicações.

Para entender as raízes sociais da revolução da tecnologia da informação nos Estados Unidos, além dos mitos que a cercam, farei um breve relato do processo de formação de sua fonte tecnológica mais notável: o Vale do Silício. Como já mencionei, foi no Vale do Silício que o circuito integrado, o microprocessador

e o microcomputador, entre outras tecnologias importantes, foram desenvolvidos, e é lá que o coração das inovações eletrônicas bate há quarenta anos, mantido por aproximadamente 250 mil trabalhadores do setor de tecnologia da informação.⁶⁴ Além disso, toda a área da Baía de São Francisco (inclusive outros centros de inovação como Berkeley, Emeryville, condado Marin e a própria São Francisco) também participou do início da engenharia genética e é, na virada do século, um dos principais centros mundiais de *software* avançado, projetos e desenvolvimento na Internet, engenharia genética e projetos de processamento de dados em multimídia.

O Vale do Silício (condado de Santa Clara, 48 km ao sul de São Francisco, entre Stanford e San Jose) foi transformado em meio de inovação pela convergência de vários fatores, atuando no mesmo local: novos conhecimentos tecnológicos; um grande grupo de engenheiros e cientistas talentosos das principais universidades da área; fundos generosos vindos de um mercado garantido e do Departamento de Defesa; a formação de uma rede eficiente de empresas de capital de risco; e, nos primeiros estágios, liderança institucional da Universidade de Stanford. Na verdade, a localização improvável da indústria eletrônica em uma charmosa área semi-rural, ao norte da Califórnia, pode ser atribuída à instalação do Parque Industrial de Stanford pelo visionário diretor da Faculdade de Engenharia da Universidade de Stanford, Frederick Terman, em 1951. Ele, pessoalmente, patrocinou dois de seus pós-graduandos, William Hewlett e David Packard, para a criação de uma empresa de eletrônicos em 1938. A Segunda Guerra trouxe prosperidade à Hewlett-Packard e a outras empresas iniciantes no ramo da eletrônica. Portanto, elas foram os primeiros inquilinos de uma nova e privilegiada localidade onde somente as empresas que a Stanford julgasse inovadoras poderiam desfrutar do benefício de um aluguel irreal. Como o Parque logo ficou lotado, novas empresas de eletrônica começaram a se estabelecer ao longo da rodovia 101, na direção de San Jose.

O acontecimento decisivo foi a mudança para Palo Alto, em 1955, de William Shockley, o inventor do transistor. Foi um desenvolvimento fortuito, embora mostre a inabilidade histórica das empresas do setor de eletrônica em se apossarem da revolucionária tecnologia da microeletrônica. Shockley havia solicitado o patrocínio de grandes empresas da costa leste, como a RCA e a Raytheon, para desenvolver a produção industrial de sua descoberta. Como não conseguiu, arranhou um emprego no Vale do Silício, numa subsidiária da Beckman Instruments, principalmente porque sua mãe morava em Palo Alto. Com o apoio da Beckman Instruments, decidiu criar a própria empresa ali, a Shockley Transistors, em 1956. Ele recrutou oito engenheiros jovens e brilhantes, em particular da Bell Labora-

tories, atraídos pela possibilidade de trabalhar com Shockley. Um deles, embora não fosse exatamente da Bell, era Bob Noyce. Em pouco tempo, esses profissionais ficaram desapontados. Enquanto aprendiam os fundamentos da microeletrônica de ponta com Shockley, os engenheiros também ficavam desgostosos com seu autoritarismo e teimosia que levaram a empresa a um beco sem saída. O que mais queriam, contra a decisão de Shockley, era trabalhar com silício, a rota mais promissora para a maior integração de transistores. Assim, depois de apenas um ano, eles deixaram Shockley (cuja empresa fracassou) e criaram (com a ajuda da Fairchild Cameras) a Fairchild Semiconductors, onde o processo plano e o circuito integrado foram inventados, nos dois anos seguintes. Enquanto Shockley, depois de sucessivos fracassos empresariais, acabou se refugiando no cargo de professor de Stanford em 1963, assim que descobriram o potencial tecnológico e comercial de seus conhecimentos, cada um dos brilhantes "Oito da Fairchild" deixou a Fairchild para montar a própria empresa. E seus recrutas fizeram o mesmo após algum tempo. Dessa forma, metade das 85 maiores empresas norte-americanas de semicondutores, inclusive as grandes fabricantes atuais como a Intel, Advanced Micro Devices, National Semiconductors, Signetics e assim por diante, é oriunda dessa cisão parcial da Fairchild.

Foi essa transferência de tecnologia de Shockley para a Fairchild e, depois, para uma rede de empresas criadas a partir dela que constituiu a fonte inicial de inovação, servindo de base para o Vale do Silício e a revolução da microeletrônica. De fato, em meados da década de 1950, os principais centros da eletrônica ainda não eram Stanford e Berkeley e sim o MIT, e isso refletiu na localização original da indústria eletrônica na Nova Inglaterra. Porém, assim que os conhecimentos se instalaram no Vale do Silício, o dinamismo de sua estrutura industrial e a contínua criação de novas empresas transformaram esse lugar no centro mundial da microeletrônica, no início da década de 1970. Anna Saxenian comparou o desenvolvimento dos complexos de eletrônica em duas áreas (Route 128 de Boston e Vale do Silício) e concluiu que o papel decisivo foi desempenhado pela organização social e industrial de empresas, promovendo ou impedindo a inovação.⁶⁵ Assim, enquanto empresas grandes e bem estabelecidas do leste eram rígidas (e arrogantes) demais para reequipar-se constantemente com base em novas fronteiras tecnológicas, o Vale do Silício continuou produzindo muitas novas empresas e praticando troca de experiência e difusão de conhecimentos por intermédio da rotatividade de profissionais e de cisões parciais. Conversas noturnas em bares e restaurantes, como o Walker's Wagon Wheel Bar e o Grill in the Mountain View, fizeram mais pela difusão da inovação tecnológica do que a maioria dos seminários de Stanford.

Conforme já expliquei em outro livro,⁶⁶ outro fator importante da formação do Vale do Silício foi a existência de uma rede de empresas de capital de risco desde o início.⁶⁷ O fator importante é que muitos dos primeiros investidores eram oriundos do ramo da eletrônica e tinham, portanto, conhecimentos acerca dos projetos tecnológicos e empresariais em que apostavam. Gene Kleinert, por exemplo, de uma das mais importantes empresas de capital de risco da década de 1960, a Kleinert, Perkins, and Partners, era um dos Oito da Fairchild. Em 1988, estimava-se que “o capital de risco representava cerca de metade dos investimentos em novos produtos e serviços associados ao ramo da informática e da comunicação”.⁶⁸

Processo semelhante ocorreu no desenvolvimento dos microcomputadores, que introduziram uma linha divisória histórica no uso da tecnologia da informação.⁶⁹ Em meados dos anos 70, o Vale do Silício havia atraído dezenas de milhares de mentes jovens e brilhantes de todas as partes do mundo, marchando para a agitação da nova meca tecnológica em busca do talismã da invenção e da fortuna. Reuniam-se em clubes para a troca de idéias e informações sobre os avanços mais recentes. Um desses pontos de encontro era o Home Brew Computer Club, cujos jovens visionários (inclusive Bill Gates, Steve Jobs e Steve Wozniak) seguiriam adiante para criar aproximadamente 22 empresas nos anos seguintes, entre elas Microsoft, Apple, Comenco e North Star. Foi no clube, lendo um artigo da *Popular Electronics* sobre a máquina Altair, de Ed Roberts, que Wozniak se inspirou para projetar o microcomputador Apple I, na sua garagem em Menlo Park, no verão de 1976. Steve Jobs percebeu o potencial e, juntos, eles fundaram a Apple, com um empréstimo no valor de US\$ 91 mil de um executivo da Intel, Mike Markkula, que entrou como sócio. Aproximadamente na mesma época, Bill Gates fundou a Microsoft para fornecer sistemas operacionais a microcomputadores, embora tenha estabelecido sua empresa em Seattle, em 1978, para beneficiar-se dos contatos sociais de sua família.

Uma história muito parecida poderia ser contada a respeito do desenvolvimento da engenharia genética, com cientistas destacados das universidades de Stanford, São Francisco e Berkeley migrando para empresas localizadas, a princípio, na área da Baía de São Francisco. Também passariam por processos frequentes de cisão parcial, mantendo vínculos com cada *alma mater*.⁷⁰ Aconteceram processos muito semelhantes em Boston/Cambridge ao redor de Harvard-MIT, no triângulo da pesquisa em torno das universidades de Duke e da Carolina do Norte e, ainda mais importante, em Maryland em torno dos principais hospitais, dos institutos nacionais de pesquisa sobre saúde e da Universidade John Hopkins.

A conclusão a se tirar dessas histórias interessantes tem dois aspectos: o desenvolvimento da revolução da tecnologia da informação contribuiu para a formação dos meios de inovação onde as descobertas e as aplicações interagiam e eram testadas em um repetido processo de tentativa e erro: aprendia-se fazendo. Esses ambientes exigiam (e no início do século XXI ainda exigem, apesar da atuação *on-line*) a concentração espacial de centros de pesquisa, instituições de educação superior, empresas de tecnologia avançada, uma rede auxiliar de fornecedores, provendo bens e serviços e redes de empresas com capital de risco para financiar novos empreendimentos. Em segundo lugar, uma vez que um meio esteja consolidado, como o Vale do Silício na década de 1970, ele tende a gerar sua própria dinâmica e a atrair conhecimentos, investimentos e talentos de todas as partes do mundo. Na verdade, nos anos 90, o Vale do Silício teve a vantagem da proliferação de empresas japonesas, taiwanesas, coreanas, indianas e européias, e da chegada de milhares de engenheiros e especialistas em computação, principalmente da Índia e da China, para os quais uma presença ativa no Vale do Silício é a conexão mais produtiva às fontes de novas tecnologias e informações comerciais valiosas.⁷¹ Além disso, devido ao seu posicionamento nas redes de inovação tecnológica, e também a sua interpretação empresarial implícita das regras da nova economia da informática, a área da Baía de São Francisco tem sido capaz de aderir a cada novo desenvolvimento. Na década de 1990, quando a Internet foi privatizada e se tornou tecnologia comercial, o Vale do Silício também conseguiu capturar o novo ramo de atividades. As principais empresas de equipamentos para a Internet (como a Cisco Systems), empresas de implantação redes de computadores (como a Sun Microsystems), empresas de *software* (como a Oracle), e portais da Internet (como o Yahoo!) começaram no Vale do Silício.⁷² Ademais, a maioria das empresas novatas da Internet que inauguraram o *e-commerce* e revolucionaram o comércio (como a Ebay), também estavam agrupadas no Vale do Silício. O surgimento da multimídia em meados da década de 1970 criou conexões comerciais e tecnológicas entre as capacidades de projetos para computadores das empresas do Vale do Silício e os estúdios de produção de imagens em Hollywood, logo apelidados de indústria “Siliwood”. E em um canto obscuro de São Francisco (South of Market), artistas, projetistas gráficos e “desenvolvedores” de *software* reuniam-se na chamada “Sarjeta da Multimídia” que ameaça inundar nossos lares com imagens criadas em suas mentes exaltadas — ao mesmo tempo criando o mais dinâmico centro de projetos multimídia do mundo.⁷³

Será que esse padrão social, cultural e espacial de inovação pode ser estendido para o mundo inteiro? Para responder essa pergunta, em 1988, meu colega Peter Hall e eu iniciamos uma viagem de vários anos ao redor do mundo para visitar

e analisar alguns dos principais centros tecnológicos/científicos do planeta, da Califórnia ao Japão, da Nova Inglaterra à Velha Inglaterra, de Paris-Sud a Hsinchu-Tailândia, de Sofia-Antipolis a Akademgorodok, de Szelenograd a Daeduck, de Munique a Seul. Nossas conclusões⁷⁴ confirmam o papel decisivo desempenhado pelos meios de inovação no desenvolvimento da revolução da tecnologia da informação: concentração de conhecimentos científicos/tecnológicos, instituições, empresas e mão-de-obra qualificada são as forjas da inovação da Era da Informação. Porém, esses meios não precisam reproduzir o padrão cultural, espacial, institucional e industrial do Vale do Silício ou de outros centros norte-americanos de inovação tecnológica, como o Sul da Califórnia, Boston, Seattle ou Austin.

Nossa descoberta mais surpreendente é que as maiores áreas metropolitanas antigas do mundo industrializado são os principais centros de inovação e produção de tecnologia da informação, fora dos EUA. Na Europa, Paris-Sud constitui a maior concentração de produção de alta tecnologia e pesquisa, e o corredor M4 de Londres ainda é a localidade mais preeminente em eletrônica da Grã-Bretanha, em continuidade histórica com as fábricas de materiais bélicos a serviço da Coroa desde o século XIX. É claro que a conquista da superioridade de Munique sobre Berlim deveu-se à derrota alemã na Segunda Guerra Mundial, com a Siemens mudando-se deliberadamente de Berlim para a Bavária, antecipando a ocupação norte-americana daquela área. Tóquio-Yokohama continua a ser o centro do setor japonês de tecnologia da informação, apesar da descentralização de filiais operadas no programa Technopolis. Moscou-Szelenograd e São Petersburgo foram e são os centros de conhecimentos e da produção tecnológica soviética e russa, após o fracasso do sonho siberiano de Khrushchev. Hsinchu é, na verdade, um satélite de Taipei; Daeduck nunca teve um papel significativo se comparado a Seul-Inchon, apesar de localizar-se na província onde nasceu o ditador Park; e Pequim e Xangai são e serão o centro do desenvolvimento tecnológico chinês. Pode-se dizer a mesma coisa da Cidade do México, no México, de São Paulo-Campinas, no Brasil, e de Buenos Aires, na Argentina. Nesse sentido, o enfraquecimento tecnológico de antigas metrópoles norte-americanas (Nova York-Nova Jersey, apesar de seu papel proeminente até a década de 1960; Chicago; Detroit; Filadélfia) é exceção em termos internacionais, vinculado à excepcionalidade norte-americana resultante de seu espírito desbravador e interminável escapismo das contradições de cidades construídas e sociedades constituídas. Por outro lado, seria intrigante explorar a relação entre essa excepcionalidade e a inquestionável superioridade norte-americana em uma revolução tecnológica caracterizada pela necessidade de rompimento de parâmetros mentais para estimular a criatividade.

Porém, o caráter metropolitano da maioria dos locais da revolução da tecnologia da informação em todo o mundo parece indicar que o ingrediente crucial em seu desenvolvimento não é a novidade do cenário cultural e institucional, mas sua capacidade de gerar sinergia com base em conhecimentos e informação, diretamente relacionados à produção industrial e aplicações comerciais. A força cultural e empresarial da metrópole (antiga ou nova — afinal de contas, a área da Baía de São Francisco é uma metrópole de aproximadamente seis milhões de habitantes) faz dela o ambiente privilegiado dessa nova revolução tecnológica, desmistificando o conceito de inovação sem localidade geográfica na era da informação.

De forma similar, o modelo de empreendimentos da revolução da tecnologia da informação parece estar ofuscado pela ideologia. Os modelos de inovação tecnológica japoneses, europeu e chinês não são apenas muito diferentes da experiência norte-americana como também essa importante experiência é frequentemente mal entendida. Geralmente se reconhece que o papel do Estado é decisivo no Japão, onde grandes empresas foram orientadas e apoiadas pelo MITI (Ministério do Comércio Internacional e Indústria) durante muito tempo, chegando a se estender por boa parte da década de 1980, mediante uma série de audaciosos programas tecnológicos, em que alguns fracassaram (por exemplo, o Computador de Quinta Geração). Porém a maior parte desses programas ajudaram o Japão a transformar-se em uma superpotência tecnológica em apenas cerca de vinte anos, conforme foi documentado por Michael Borrus.⁷⁵ Na experiência japonesa pode-se notar o papel muito modesto das universidades e nenhuma empresa iniciante e inovadora. O planejamento estratégico do MITI e a interface constante entre as *keiretsu* e o governo são elementos primordiais na explicação da façanha do Japão, que dominou a Europa e alcançou os EUA em vários segmentos das indústrias de tecnologia da informação. Uma história semelhante pode ser contada sobre a Coreia do Sul e Taiwan, apesar de, neste último caso, as multinacionais terem desempenhado um papel fundamental. As sólidas bases tecnológicas da China e da Índia estão diretamente relacionadas a seus complexos industriais militares, com patrocínio e orientação do Estado.

Também foi assim com a maioria das indústrias eletrônicas britânicas e francesas, centralizadas em telecomunicações e na indústria bélica até a década de 1980.⁷⁶ No último quartel do século XX, a União Européia continuou com uma série de programas tecnológicos para acompanhar a concorrência internacional, apoiando sistematicamente os “campeões nacionais”, mesmo com prejuízos ou resultados ínfimos. Na verdade, a única maneira de as empresas de tecnologia da informação européias sobreviverem no campo tecnológico foi o uso de

seus consideráveis recursos (uma parcela substancial vinda de verbas governamentais) para formar alianças com as empresas japonesas e norte-americanas que representam, cada vez mais, a fonte de seu *know-how* de tecnologia avançada no setor da informação.⁷⁷

Mesmo nos EUA, sabe-se que os contratos militares e as iniciativas tecnológicas do Departamento de Defesa desempenharam papéis decisivos no estágio de formação da revolução da tecnologia da informação, ou seja, entre as décadas de 1940 e 1970. Até mesmo a principal fonte de descobertas em eletrônica, a Bell Laboratories, desempenhou o papel de um laboratório nacional: sua controladora (ATT) desfrutou de um monopólio de telecomunicações mantido pelo governo; parte significativa de suas verbas de pesquisa vinha do governo dos EUA; e, na verdade, desde 1956, a ATT era forçada pelo governo norte-americano a difundir as descobertas tecnológicas em domínio público em troca da manutenção do monopólio das telecomunicações públicas.⁷⁸ Instituições como o MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, Chicago, John Hopkins, e laboratórios nacionais de armamentos tais como Livermore, Los Alamos, Sandia e Lincoln trabalharam com e para os órgãos do Departamento de Defesa em programas que conduziram a avanços fundamentais, desde os computadores da década de 1940 até a optoeletrônica e as tecnologias de inteligência artificial do programa “Guerra nas Estrelas” dos anos 80. A DARPA (Agência de Projetos de Pesquisa Avançada do Departamento de Defesa) desempenhou, nos EUA, um papel não muito diferente do MITI no desenvolvimento tecnológico do Japão, incluindo o projeto e a verba inicial da Internet.⁷⁹ Na verdade, na década de 1980, quando a administração Reagan, extremamente adepta do *laissez-faire*, sentiu a ferroada da concorrência japonesa, o Departamento de Defesa liberou uma verba para a SEMATECH, um consórcio de empresas norte-americanas de eletrônica, para patrocinar os onerosos custos de programas de P&D na indústria eletrônica, por razões de segurança nacional. E o governo federal também ajudou no esforço das grandes empresas no campo da microeletrônica, criando a MCC e ficando tanto a SEMATECH como a MCC localizadas em Austin, Texas.⁸⁰ Também, durante os decisivos anos 50 e 60, os contratos militares e o programa espacial representaram mercados essenciais para a indústria eletrônica, tanto para as grandes empresas contratadas no setor bélico, localizadas ao sul da Califórnia, quanto para as inovadoras recém-estabelecidas no Vale do Silício e na Nova Inglaterra.⁸¹ Talvez elas não tivessem sobrevivido sem os financiamentos generosos e o mercado protegido de um governo norte-americano ansioso por recuperar a supremacia tecnológica sobre a União Soviética, estratégia que no final valeu a pena. A engenharia genética originou-se nos principais centros de pesquisa de universidades e hospitais, bem como nos institutos de pesquisa sobre saúde, contando, em grande

parte, com financiamentos e patrocínio do governo.⁸² Portanto, foi o Estado, e não o empreendedor de inovações em garagens, que iniciou a revolução da tecnologia da informação tanto nos Estados Unidos como em todo o mundo.⁸³

Porém, sem esses empresários inovadores, como os que deram início ao Vale do Silício ou aos clones de PCs em Taiwan, a revolução da tecnologia da informação teria adquirido características muito diferentes e é improvável que tivesse evoluído para a forma de dispositivos tecnológicos flexíveis e descentralizados que se estão difundindo por todas as esferas da atividade humana. Sem dúvida, desde o início dos anos 70, a inovação tecnológica tem sido essencialmente conduzida pelo mercado:⁸⁴ e os inovadores, enquanto ainda muitas vezes empregados por grandes empresas, em particular no Japão e na Europa, continuam a montar seus negócios nos Estados Unidos e, cada vez mais, em todo o mundo. Com isso, há um aumento da velocidade da inovação tecnológica e uma difusão mais rápida dessa inovação à medida que mentes talentosas, impulsionadas por paixão e ambição, vão fazendo pesquisas constantes no setor em busca de nichos de mercado em produtos e processos. *Na realidade, é mediante essa interface entre os programas de macropesquisa e grandes mercados desenvolvidos pelos governos, por um lado, e a inovação descentralizada estimulada por uma cultura de criatividade tecnológica e por modelos de sucessos pessoais rápidos, por outro, que as novas tecnologias da informação prosperam.* No processo, essas tecnologias agruparam-se em torno de redes de empresas, organizações e instituições para formar um novo paradigma sociotécnico.

O paradigma da tecnologia da informação

Nas palavras de Christopher Freeman :

Um paradigma econômico e tecnológico é um agrupamento de inovações técnicas, organizacionais e administrativas inter-relacionadas cujas vantagens devem ser descobertas não apenas em uma nova gama de produtos e sistemas, mas também e sobretudo na dinâmica da estrutura dos custos relativos de todos os possíveis insumos para a produção. *Em cada novo paradigma, um insumo específico ou conjunto de insumos pode ser descrito como o “fator-chave” desse paradigma caracterizado pela queda dos custos relativos e pela disponibilidade universal.* A mudança contemporânea de paradigma pode ser vista como uma transferência de uma tecnologia baseada principalmente em insumos baratos de energia para uma *outra que se baseia predominantemente em insumos baratos de informação derivados do avanço da tecnologia em microeletrônica e telecomunicações.*⁸⁵

O conceito de paradigma tecnológico, elaborado por Carlota Perez, Christopher Freeman e Giovanni Dosi, com a adaptação da análise clássica das revoluções científicas feita por Kuhn, ajuda a organizar a essência da transformação tecnológica atual à medida que ela interage com a economia e a sociedade.⁸⁶ Em vez de apenas aperfeiçoar a definição de modo a incluir os processos sociais além da economia, penso que seria útil destacar os aspectos centrais do paradigma da tecnologia da informação para que sirvam de guia em nossa futura jornada pelos caminhos da transformação social. No conjunto, esses aspectos representam a base material da sociedade da informação.

A primeira característica do novo paradigma é que a informação é sua matéria-prima: *são tecnologias para agir sobre a informação*, não apenas informação para agir sobre a tecnologia, como foi o caso das revoluções tecnológicas anteriores.

O segundo aspecto refere-se à *penetrabilidade dos efeitos das novas tecnologias*. Como a informação é uma parte integral de toda atividade humana, todos os processos de nossa existência individual e coletiva são diretamente moldados (embora, com certeza, não determinados) pelo novo meio tecnológico.

A terceira característica refere-se à *lógica de redes* em qualquer sistema ou conjunto de relações, usando essas novas tecnologias da informação. A morfologia da rede parece estar bem adaptada à crescente complexidade de interação e aos modelos imprevisíveis do desenvolvimento derivado do poder criativo dessa interação.⁸⁷ Essa configuração topológica, a rede, agora pode ser implementada materialmente em todos os tipos de processos e organizações graças a recentes tecnologias da informação. Sem elas, tal implementação seria bastante complicada. E essa lógica de redes, contudo, é necessária para estruturar o não-estruturado, porém preservando a flexibilidade, pois o não-estruturado é a força motriz da inovação na atividade humana.

Ademais, quando as redes se difundem, seu crescimento se torna exponencial, pois as vantagens de estar na rede crescem exponencialmente, graças ao número maior de conexões, e o custo cresce em padrão linear. Além disso, a penalidade por estar fora da rede aumenta com o crescimento da rede em razão do número em declínio de oportunidades de alcançar outros elementos fora da rede. O criador da tecnologia das redes de área local (LAN), Robert Metcalfe, propôs em 1973 uma fórmula matemática simples que demonstrava como o valor da rede é o quadrado do número de nós da rede. A fórmula é $V = n^{(n-1)}$, donde n é o número de nós da rede.

Em quarto lugar, referente ao sistema de redes, mas sendo um aspecto claramente distinto, o paradigma da tecnologia da informação é baseado na *flexibi-*

lidade. Não apenas os processos são reversíveis, mas organizações e instituições podem ser modificadas, e até mesmo fundamentalmente alteradas, pela reorganização de seus componentes. O que distingue a configuração do novo paradigma tecnológico é sua capacidade de reconfiguração, um aspecto decisivo em uma sociedade caracterizada por constante mudança e fluidez organizacional. Tornou-se possível inverter as regras sem destruir a organização, porque a base material da organização pode ser reprogramada e reaparelhada.⁸⁸ Porém, devemos evitar um julgamento de valores ligado a essa característica tecnológica. Isso porque a flexibilidade tanto pode ser uma força libertadora como também uma tendência repressiva, se os redefinidores das regras sempre forem os poderes constituídos. De acordo com Mulgan: “As redes são criadas não apenas para comunicar, mas para ganhar posições, para melhorar a comunicação”.⁸⁹ Portanto, é essencial manter uma distância entre a avaliação do surgimento de novas formas e processos sociais, induzidos e facilitados por novas tecnologias, e a extrapolação das consequências potenciais desses avanços para a sociedade e as pessoas: só análises específicas e observação empírica conseguirão determinar as consequências da interação entre as novas tecnologias e as formas sociais emergentes. Mas também é essencial identificar a lógica embutida no novo paradigma tecnológico.

Então, uma quinta característica dessa revolução tecnológica é a crescente *convergência de tecnologias específicas para um sistema altamente integrado*, no qual trajetórias tecnológicas antigas ficam literalmente impossíveis de se distinguir em separado. Assim, a microeletrônica, as telecomunicações, a optoeletrônica e os computadores são todos integrados nos sistemas de informação. Ainda existe, e existirá por algum tempo, uma distinção comercial entre fabricantes de *chips* e desenvolvedores de *software*, por exemplo. Mas até mesmo essa diferenciação fica indefinida com a crescente integração de empresas em alianças estratégicas e projetos de cooperação, bem como pela incorporação de *software* também nos componentes dos *chips*. Além disso, em termos de sistemas tecnológicos, um elemento não pode ser imaginado sem o outro: os computadores são em grande parte determinados pela capacidade dos *chips*, e tanto o projeto quanto o processamento paralelo dos microcomputadores dependem da arquitetura do computador. As telecomunicações agora são apenas uma forma de processamento da informação; as tecnologias de transmissão e conexão estão, simultaneamente, cada vez mais diversificadas e integradas na mesma rede operada por computadores.⁹⁰ Conforme analisei anteriormente, o desenvolvimento da Internet está invertendo a relação entre comutação de circuitos e troca de pacotes nas tecnologias da comunicação, para que a transmissão de dados se torne a for-

ma de comunicação predominante e universal. E a transmissão de dados baseia-se nas instruções de codificação e decodificação contidas em programas.

A convergência tecnológica transforma-se em uma interdependência crescente entre as revoluções em biologia e microeletrônica, tanto em relação a materiais quanto a métodos. Assim, avanços decisivos em pesquisas biológicas, como a identificação dos genes humanos e segmentos do DNA humano só conseguem seguir adiante por causa do grande poder da informática.⁹¹ A nanotecnologia pode vir a permitir a inserção de minúsculos microprocessadores em órgãos de organismos vivos, inclusive dos seres humanos.⁹² Por outro lado, o uso de materiais biológicos na microeletrônica, apesar de ainda muito distante de uma aplicação mais genérica, já estava em estágio experimental em fins da década de 1990. Em 1995, Leonard Adleman, um cientista da computação na Universidade do Sul da Califórnia, usou moléculas sintéticas de DNA e, com a ajuda de uma reação química, provocou seu funcionamento de acordo com a lógica combinatória do DNA, como um material básico para a computação.⁹³ Embora a pesquisa ainda tenha um longo caminho a percorrer rumo à integração material entre a biologia e a eletrônica, a lógica da biologia (a capacidade de autogerar seqüências coerentes não programadas) está cada vez mais sendo introduzida nas máquinas.⁹⁴ Em 1999, Harold Abelson e seus colegas do laboratório de ciência da computação no MIT estavam tentando “alterar” a bactéria *E. coli* para que ela pudesse funcionar como circuito eletrônico, com a capacidade de se reproduzir. Estavam fazendo experiências com “computação amorfa”, isto é, introduzindo circuitos em material biológico. Já que as células biológicas só computam enquanto estiverem vivas, essa tecnologia se combinaria com a eletrônica molecular, comprimindo milhões ou bilhões desses comutadores biológicos em espaços minúsculos, com a aplicação em potencial de produzir “materiais inteligentes” de todos os tipos.⁹⁵

Alguns experimentos da pesquisa avançada na interação entre seres humanos e computadores dependem do uso de interfaces cerebrais adaptáveis que reconheçam estados mentais em sinais *on-line* de eletroencefalogramas (EEG) espontâneos, com base na teoria da rede neural artificial. Assim, em 1999, no Centro de Pesquisas Conjuntas da União Européia em Ispira, Itália, o cientista da computação Jose Millan e seus colegas conseguiram demonstrar experimentalmente que as pessoas que usassem um capacete compacto de EEG poderiam comunicar-se por meio do controle consciente dos pensamentos.⁹⁶ Seu método baseou-se num processo de aprendizado mútuo, por meio do qual o usuário e a interface cerebral se acoplam e se adaptam entre si. Por conseguinte, a rede neural aprende os padrões de EEG específico dos usuários enquanto os usuários aprendem a pensar de maneira a serem mais bem entendidos pela interface pessoal.

O atual processo de convergência entre diferentes campos tecnológicos no paradigma da informação resulta de sua lógica compartilhada na geração da informação. Essa lógica é mais aparente no funcionamento do DNA e na evolução natural e é, cada vez mais, reproduzida nos sistemas de informação mais avançados à medida que os *chips*, computadores e *software* alcançam novas fronteiras de velocidade, de capacidade de armazenamento e de flexibilidade no tratamento da informação oriunda de fontes múltiplas. Embora a reprodução do cérebro humano com seus bilhões de circuitos e insuperável capacidade de recombinação, a rigor, seja ficção científica, os limites da capacidade de informação dos computadores de hoje em dia estão sendo superados a cada mês.⁹⁷

A partir da observação dessas mudanças extraordinárias em nossas máquinas e conhecimentos sobre a vida e com a ajuda de tais máquinas e conhecimentos, está havendo uma transformação tecnológica mais profunda: a das categorias segundo as quais pensamos todos os processos. Segundo as idéias propostas pelo historiador de tecnologia, Bruce Mazlish:

É necessário reconhecer que a evolução biológica humana, agora melhor entendida em termos culturais, impõe à humanidade — a nós — a conscientização de que ferramentas e máquinas são inseparáveis da evolução da natureza humana. Também precisamos perceber que o desenvolvimento das máquinas, culminando com o computador, mostra-nos, de forma inevitável, que as mesmas teorias úteis na explicação do funcionamento de dispositivos mecânicos também têm utilidade no entendimento do animal humano — e vice-versa, pois a compreensão do cérebro humano elucida a natureza da inteligência artificial.⁹⁸

De uma perspectiva diferente, baseados nos discursos da moda nos anos 80 sobre a “teoria do caos”, na década de 1990 uma rede de cientistas e pesquisadores convergiam para uma abordagem epistemológica comum, identificada pela palavra “complexidade”. Organizado em torno de seminários do Instituto Santa Fé, no Novo México, (originalmente um clube de físicos altamente capacitados da empresa Los Alamos Laboratory e, logo após, contando com a participação de um grupo seleto de ganhadores do Prêmio Nobel e amigos), esse círculo intelectual tem como objetivo a comunicação do pensamento científico (inclusive ciências sociais) sob um novo paradigma. Seus membros procuram compreender o surgimento de estruturas auto-organizadas que criam complexidade a partir da simplicidade e ordem superior a partir do caos, mediante várias ordens de interatividade entre os elementos básicos na origem do processo.⁹⁹ Embora frequentemente descartado pela ciência tradicional como sendo uma proposição não com-

provável, esse projeto é um exemplo do esforço realizado em diferentes ambientes no sentido de encontrar um terreno comum para a troca de experiências intelectuais entre a ciência e a tecnologia na Era da Informação. Porém, essa abordagem parece impedir qualquer estrutura sistemática de integração. O pensamento da complexidade deve ser considerado mais como um método para entender a diversidade do que uma metateoria unificada. Seu valor epistemológico pode ter-se originado do reconhecimento do caráter auto-organizador da Natureza e da sociedade. Não se pode afirmar que não haja regras, mas as regras são criadas e mudadas em um processo contínuo de ações deliberadas e interações exclusivas. Assim, em 1999 um jovem pesquisador do Santa Fe Institute, Duncan Watts, propôs uma análise forma da lógica dos sistemas de redes que fundamentava a formação de “pequenos mundos”, isto é, o conjunto abrangente de conexões, na natureza e na sociedade, entre elementos que, mesmo quando não se comunicam diretamente, têm relação, de fato, por meio de uma curta cadeia de intermediários. Por exemplo, ele demonstra matematicamente que, se representarmos num gráfico os sistemas de relações, o essencial para a geração do fenômeno de um pequeno mundo (que é o símbolo da lógica dos sistemas de redes) é a presença de uma pequena fração de acessos globais de longa distância, o que contrai partes do gráfico que, de outra maneira, estariam distantes, embora a maioria dos acessos continuem locais, organizados em agrupamentos.¹⁰⁰ Isso representa com exatidão a lógica do sistema de redes de inovação locais/globais, conforme está documentado neste capítulo. A contribuição importante da escola de pensamento da teoria da complexidade é sua ênfase na dinâmica não-linear como método mais proveitoso de entender o comportamento dos sistemas vivos, tanto na sociedade quanto na natureza. A maior parte do trabalho dos pesquisadores do Santa Fe Institute é de natureza matemática; não é uma análise empírica dos fenômenos naturais ou sociais. Mas há pesquisadores em inúmeros campos das ciências que usam a dinâmica não-linear como princípio orientador com resultados científicos cada vez mais importantes. Fritjof Capra, físico teórico e ecologista de Berkeley, integrou muitos desses resultados no esboço de uma teoria coerente dos sistemas vivos numa série de livros, em especial seu notável *Web of Life*.¹⁰¹ Ele ampliou o trabalho do ganhador do prêmio Nobel Ilya Prigogine.

A teoria de Prigogine das estruturas dissipadoras demonstrou a dinâmica não-linear da auto-organização dos ciclos químicos, e nos permitiu compreender o surgimento espontâneo de ordem como uma das características essenciais da vida. Capra demonstra como as pesquisas de vanguarda em áreas tão diferentes como o desenvolvimento das células, os sistemas econômicos globais (conforme representado pela polêmica teoria Gaia, e pelo modelo de simulação “Daisyworld”

de Lovelock), a neurociência (conforme no trabalho de Gerald Edelman ou Oliver Sacks), e os estudos da origem da vida fundamentados na recém-nascida teoria das redes químicas são todas, manifestações de uma perspectiva dinâmica não-linear.¹⁰² Os novos conceitos fundamentais, como os atratores, retratos de fases, propriedades emergentes, fractais, oferecem novas perspectivas para a compreensão das observações do comportamento em sistemas vivos, inclusive nos sistemas sociais — preparando assim o caminho de um elo teórico entre diversos campos das ciências; não os reduzindo a um conjunto de regras em comum, mas explicando os processos e os resultados provenientes das propriedades auto-geradoras de sistemas vivos específicos. Brian Arthur, economista de Stanford que trabalha no Santa Fe Institute, aplicou a teoria da complexidade à teoria formal da economia, propondo conceitos como o dos mecanismos de auto-reforço, da dependência da rota e das propriedades emergentes, e demonstrando sua importância para o entendimento das características da nova economia.¹⁰³

Em resumo, o paradigma da tecnologia da informação não evolui para seu fechamento como um sistema, mas rumo a abertura como uma rede de acessos múltiplos. É forte e impositivo em sua materialidade, mas adaptável e aberto em seu desenvolvimento histórico. Abrangência, complexidade e disposição em forma de rede são seus principais atributos.

Assim, a dimensão social da revolução da tecnologia da informação parece destinada a cumprir a lei sobre a relação entre a tecnologia e a sociedade proposta algum tempo atrás por Melvin Kranzberg: “A primeira lei de Kranzberg diz: A tecnologia não é nem boa, nem ruim e também não é neutra.”¹⁰⁴ É uma força que provavelmente está, mais do que nunca, sob o atual paradigma tecnológico que penetra no âmago da vida e da mente.¹⁰⁵ Mas seu verdadeiro uso na esfera da ação social consciente e a complexa matriz de interação entre as forças tecnológicas liberadas por nossa espécie e a espécie em si são questões mais de investigação que de destino. Portanto, prosseguirei agora com essa investigação.

Notas

1. Gould (1980 : 226)
2. Melvin Kranzberg, um dos principais historiadores de tecnologia, escreveu “A Era da Informação, na realidade, revolucionou os elementos técnicos da sociedade industrial” (1985: 42). Em relação a seus efeitos sociais: “Embora possa ser evolucionária, no sentido de que nem todas as mudanças e benefícios aparecerão de uma hora para outra, seus efeitos sobre nossa sociedade serão revolucionários” (1985 : 52). Seguindo a mesma linha de raciocínio, ver também, por exemplo: Nora e Minc (1978); Dizard (1982); Perez (1983); Forester (1985);

- Darbon e Robin (1987); Stourdze (1987); Dosi *et al.* (1988b); Bishop e Waldholz (1990); Salomon (1992); Petrella (1993); Ministério dos Correios e Telecomunicações (Japão) (1995); Negroponte (1995).
3. Sobre a definição da tecnologia como “cultura material” que considero ser a perspectiva sociológica adequada, ver, especialmente, a discussão em Fischer (1992: 1-32): “Aqui, a tecnologia é semelhante ao conceito de cultura material.”
 4. Brooks (1971: 13), de texto não publicado, citado com ênfase acrescentada por Bell (1976: 29).
 5. Saxby (1990); Mulgan (1991).
 6. Hall (1987); Marx (1989).
 7. Para uma exposição estimulante e esclarecedora, embora deliberadamente controversa, da convergência entre a revolução biológica e a mais ampla revolução da tecnologia da informação, ver Kelly (1995).
 8. Forester (1988); Edquist e Jacobsson (1989); Herman (1990); Drexler e Peterson (1991); Lincoln e Essin (1993); Dondero (1995); Lovins e Lovins (1995); Lyon e Gerner (1995); .
 9. Negroponte (1995).
 10. Kranzberg e Pursell (1967).
 11. O total entendimento da revolução tecnológica atual exigiria a discussão da especificidade das novas tecnologias da informação *vis-à-vis* seus predecessores históricos também de caráter revolucionário, como a descoberta da imprensa, na China, provavelmente no final do século VII e, na Europa, no século XV, tema clássico da literatura das comunicações. Não podendo abordar a questão nos limites deste livro, enfocado na dimensão sociológica da transformação tecnológica, gostaria de sugerir que o leitor prestasse atenção em alguns tópicos. As tecnologias da informação com base na eletrônica (inclusive a imprensa eletrônica) apresentam uma capacidade de armazenamento de memória e velocidade de combinação e transmissão de *bits* incomparáveis. Os textos eletrônicos permitem flexibilidade de *feedback*, interação e reconfiguração de texto muito maiores — como qualquer autor de processador de texto pode confirmar — e, desse modo, alteram o próprio processo de comunicação. A comunicação *on-line*, aliada à flexibilidade do texto, propicia programação de espaço/tempo ubíqua e assíncrona. Em relação aos efeitos sociais das tecnologias da informação, minha hipótese é que a profundidade de seu impacto é uma função da penetrabilidade da informação por toda a estrutura social. Assim, embora a imprensa tenha afetado as sociedades européias de maneira substancial na Era Moderna, bem como, em menor medida, a China medieval, seus efeitos foram, de certa forma, limitados devido ao analfabetismo generalizado da população e por causa da pouca intensidade da informação na estrutura produtiva. Então, ao educar seus cidadãos e promover a organização gradual da economia em torno de conhecimentos e informação, a sociedade industrial preparou o terreno para a capacitação da mente humana para quando as novas tecnologias da informação fossem disponibilizadas. Ver comentários históricos sobre esse início de revolução das tecnologias da informação em Boureau *et al.* (1989). Para alguns elementos do debate sobre a especificidade tecnológica da comunicação eletrônica, inclusive a visão de McLuhan, ver capítulo 5.
 12. M. Kranzberg, “Prerequisites for industrialization”, in Kranzberg e Pursell (1967: I. cap. 13); Mokyr (1990).
 13. Ashton (1948); Clow e Clow (1952); Landes (1969); Mokyr (1990: 112).
 14. Dizard (1982); Forester (1985); Hall e Preston (1988); Saxby (1990).

15. Bar (1990).
16. Rosenberg (1982); Bar (1992).
17. Mazlish (1993).
18. Mokyr (1990: 293, 209 ss.).
19. Ver, por exemplo, Thomas (1993).
20. Mokyr (1990: 83).
21. Pool (1990); Mulgan (1991).
22. Singer *et al.* (1958); Mokyr (1985). Porém, como o próprio Mokyr ressalta, na primeira Revolução Industrial na Grã-Bretanha, também havia uma interface entre ciência e tecnologia. Portanto, o aperfeiçoamento decisivo promovido por Watts na máquina a vapor projetada por Newcomen ocorreu em interação com seu amigo e protetor Joseph Black, professor de química da Universidade de Glasgow, onde, em 1757, Watts foi nomeado o “Criador de Instrumentos Matemáticos da Universidade” e conduziu seus próprios experimentos em um modelo da máquina de Newcomen (ver Dickinson, 1958). De fato, Ubbelohde (1958: 673) relata que “o condensador desenvolvido por Watts para a máquina a vapor, separado do cilindro em que o pistão se movimentava, era intimamente associado e inspirado nas pesquisas científicas de Joseph Black (1728-99), professor de química da Universidade de Glasgow”.
23. Mokyr (1990: 82).
24. David (1975); David e Bunn (1988); Arthur (1989).
25. Rosenberg e Birdzell (1986).
26. Singer *et al.* (1957).
27. Rostow (1975); ver Jewkes *et al.* (1969) para a discussão e Singer *et al.* (1958) para dados históricos.
28. Mokyr (1990).
29. Hall e Preston (1988: 123).
30. A origem do conceito de “meio de inovação” pode ser buscada em Aydalot (1985). Também estava implícito no trabalho de Anderson (1985) e no de Arthur (1985). Mais ou menos na mesma época, Peter Hall e eu, em Berkeley, Roberto Camagni, em Milão, e Denis Maillat, em Lausanne, juntamente com o finado Philippe Aydalot por um breve período, começamos a desenvolver análises empíricas sobre os meios de inovação, tema que, com justiça, se tornou objeto de muitas pesquisas nos anos 90.
31. A discussão específica das condições históricas para a concentração das inovações tecnológicas não pode ser feita nos limites deste capítulo. Reflexões úteis sobre o tema são encontradas em Gille (1978) e em Mokyr (1990). Ver também Mokyr (1990: 298).
32. Rosenberg (1976, 1982); Dosi (1988).
33. Mokyr (1990: 83).
34. Fontana (1988); Nadal e Carreras (1990).
35. Forbes (1958: 150).
36. Mokyr (1990: 84).
37. Jarvis (1958); Canby (1962); Hall e Preston (1988); . Uma das primeiras especificações detalhadas de um telégrafo elétrico faz parte de uma carta assinada por C.M. e publicada na

- revista *Scots Magazine*, em 1753. Em 1795, o catalão Francisco de Salva propôs uma das primeiras experiências práticas com um sistema elétrico. Há relatos não confirmados de que, em 1798, foi construído um telégrafo monofilar entre Madri e Aranjuez (42 km), com base no esquema de Salva. No entanto, foi apenas entre 1830-40 que o telégrafo elétrico foi estabelecido (William Coke na Inglaterra, Samuel Morse nos Estados Unidos), e, em 1851, instalou-se o primeiro cabo submarino, entre Dover e Calais (Garra 1958); ver também Sharlin (1967); Mokyr (1990).
38. Forbes (1958: 148).
 39. Um bom relato sobre as origens da revolução da tecnologia da informação, naturalmente suplantado pelos novos desenvolvimentos desde a década de 1980, é o de Braun e Macdonald (1982). Tom Forester conduziu o esforço mais sistemático para resumir os progressos dos primórdios da revolução da tecnologia da informação em uma série de livros (1980, 1985, 1987, 1989, 1993). Para bons relatos sobre as origens da engenharia genética, ver Elkington (1985) e Russell (1988). Ver uma história abalizada da computação em Ceruzzi (1998). Ver a história da Internet em Abbate (1999) e Naughton (1999).
 40. Uma "lei" aceita no setor de eletrônica creditada a Gordon Moore, presidente da Intel, a nova empresa no legendário Vale do Silício, hoje a maior do mundo e uma das mais rentáveis do setor de microeletrônica.
 41. As informações relatadas neste capítulo são facilmente encontradas em jornais e revistas, e a maior parte foi extraída de minhas leituras das revistas *Business Week*, *The Economist*, *Wired* e *Scientific American* e dos jornais *New York Times*, *El Pais* e *São Francisco Chronicle*, que constituem a base de minhas informações diárias/semanais. Também usei subsídios de conversas ocasionais sobre assuntos relacionados à tecnologia com colegas e amigos de Berkeley e Stanford, conhecedores de eletrônica e biologia e familiarizados com fontes industriais. Não acho necessário fornecer referências detalhadas sobre esses tipos gerais de informações, exceto quando determinado dado ou citação for de difícil localização.
 42. Ver Hall e Preston (1988); Mazlish (1993).
 43. Penso que, a exemplo das revoluções industriais, haverá várias revoluções da tecnologia da informação, das quais a ocorrida na década de 1970 é apenas a primeira. Provavelmente a segunda, no início do século XXI, dará um papel mais importante à revolução biológica, em estreita interação com as novas tecnologias computacionais.
 44. Braun e Macdonald (1982).
 45. Mokyr (1990: 111).
 46. Hall e Preston (1988).
 47. Ver a descrição feita por Forester (1987).
 48. Egan (1995).
 49. Ver excelentes histórias da Internet em Abbate (1999) e Naughton (1999). Ver também Hart *et al* (1992). Sobre a contribuição da cultura "hacker" para o desenvolvimento da Internet, ver Hafner e Markoff (1991); Naughton (1999); Himannen (2001).
 50. *Conseil d'Etat* (1998).
 51. Rohozinski (1998).
 52. Rheingold (1993).
 53. Reid (1997: 6).

54. Lewis (2000).
55. Cerf (1999).
56. Citado em *The Economist* (1997:33).
57. Hall (1999a); Markoff (1999a, b).
58. Sobre os primórdios do desenvolvimento da biotecnologia e da engenharia genética, ver, por exemplo, Hall (1987); Teitelman (1989); Bishop e Waldholz (1990); Congresso Norte-americano, Departamento de Avaliação de Tecnologias (1991).
59. Ver *Business Week* (1995e).
60. *Business Week* (1999a: 94-104).
61. Capra (1999a); Sapolsky (2000).
62. Lyon e Gerner (1995: 567).
63. Forester (1993).
64. Sobre a história da formação do Vale do Silício, há dois livros úteis e de leitura fácil: Rogers e Larsen (1984) e Malone (1985).
65. Saxenian (1994).
66. Castells (1989: cap. 2)
67. Zook (2000c).
68. Kay (1990: 173).
69. Levy (1984); Egan (1995). Ver interessante estudo da interação complexa entre criatividade tecnológica e estratégias empresariais em Hiltzik (1999) sobre a experiência de um dos mais importantes centros de inovação do Vale do Silício, Xerox-PARC.
70. Blakely *et al.* (1988); Hall *et al.* (1988).
71. Saxenian (1999).
72. Reid (1997); Bronson (1999); Kaplan (1999); Lewis (2000); Zook (2000c).
73. Rosen *et al.* (1999).
74. Castells e Hall (1994).
75. Borrus (1988).
76. Hall *et al.* (1987).
77. Castells *et al.* (1991); Freeman *et al.* (1991).
78. Bar (1990).
79. Tirman (1984); Broad (1985); Stowsky (1992).
80. Borrus (1988); Gibson e Rogers (1994).
81. Roberts (1991).
82. Kenney (1986).
83. Ver as análises reunidas em Castells (1988b).
84. Banegas (1993).
85. C. Freeman, "Prefácio da Parte II", in Dosi *et al.* (1988a: 10).
86. Kuhn (1962); Perez (1983); Dosi *et al.* (1988a).
87. Kelly (1995: 25-7) faz uma análise eficaz das propriedades da lógica de redes em alguns parágrafos: "O Átomo é o passado. O símbolo da ciência para o próximo século é a Rede