

Externalidades de Rede e Compatibilidades Técnicas: uma Análise Aplicada a Sistemas Tecnológicos Complexos

Resumo

O artigo utiliza o conceito de “externalidades de rede” para discutir a importância de compatibilidades técnicas em sistemas tecnológicos complexos. A discussão desdobra-se em quatro seções. Inicialmente, procura-se referenciar o conceito de “externalidades de rede” à operação de mercados nos quais a existência de padrões de interconexão técnica entre atividades assume particular relevância. Em seguida, são apresentadas algumas características de indústrias associadas a “sistemas tecnológicos complexos”. A seção seguinte discute a importância da consolidação de padrões técnicos como fator de coordenação das transações e relacionamentos entre agentes nestas indústrias, ressaltando a importância da incorporação de princípios de compatibilidade como fator de geração de “externalidades de rede”. Uma última seção, de caráter conclusivo, analisa criticamente alguns pressupostos da interpretação tradicional sobre externalidades semelhantes às descritas, sinalizando algumas implicações normativas que podem ser extraídas da análise realizada.

1. Introdução

Análises baseadas no conceito de “rede” pressupõem que a configuração dos vínculos presentes e ausentes entre os pontos que conformam determinado sistema revela estruturas específicas (Granovetter, 1985; Knoke e Kuklinski, 1982). A utilização desse conceito como instrumental analítico na abordagem de problemas econômicos reflete a incorporação de contribuições importantes da sociologia e da matemática, evidenciando uma abordagem nitidamente interdisciplinar. No âmbito das ciências exatas, o conceito de “rede” tem motivado o desenvolvimento de um instrumental sofisticado aplicável à caracterização e ao estudo de sistemas complexos. Já no campo da teoria econômica, é possível destacar, dentre os diversos tipos de análises que fazem uso deste conceito, a discussão de “externalidades de rede”, associadas a situações nas quais a presença de interdependências entre as funções-objetivo dos agentes econômicos – seja pelo lado da função utilidade que condiciona a demanda, seja pelo lado de variáveis técnicas que influenciam a oferta – afeta de forma decisiva a alocação de recursos nos respectivos mercados. Nesta perspectiva, o conceito é utilizado como instrumental para o tratamento analítico de problemas de natureza alocativa recorrentemente discutidos pela ciência econômica, a partir de desdobramentos da teoria microeconômica tradicional.

Este artigo discute as características das “externalidades de rede” em sistemas tecnológicos complexos, vinculando estas externalidades à presença de compatibilidades técnicas na órbita produtiva que afetam de forma decisiva os níveis de eficiência e bem estar, como ocorre, por exemplo, nas indústrias de equipamentos eletrônicos, telecomunicações e aeroespacial. Nestas indústrias, a presença de um padrão de interconexão e compatibilidade entre as tecnologias incorporadas em componentes e produtos constitui um aspecto fundamental para a ampliação da performance funcional dos mesmos. Em contrapartida, a presença de externalidades vinculadas à consolidação de padrões, normas e procedimentos técnicos possibilita a maior convergência dos esforços tecnológicos realizados pelos agentes nestas indústrias, permitindo a aceleração das taxas de inovação e a conseqüente ampliação dos níveis de eficiência e bem-estar.

O artigo estrutura-se em quatro seções, além dessa introdução. A seção 2 procura referenciar o conceito de “externalidades de rede” à operação de mercados nos quais destaca-se a consolidação de padrões de interconexão técnica entre atividades. A seção 3 sintetiza algumas características das indústrias associadas a “sistemas tecnológicos complexos”. A seção 4 discute como a incorporação de princípios de

compatibilidade opera de modo a gerar “externalidades de rede” nestas indústrias. Finalmente, a seção 5, de caráter conclusivo, analisa criticamente alguns pressupostos da abordagem desenvolvida e procura apontar algumas implicações normativas que podem ser extraídas da mesma.

2. Externalidades em rede e compatibilidades técnicas: uma visão geral

De forma simplificada, a presença de “externalidades de rede” está associada aos efeitos diretos e indiretos da interdependência entre as decisões de agentes. O conceito de “externalidades de rede” pressupõe que as escolhas individuais dos agentes – definidas a partir das respectivas funções-objetivo - são afetadas pelo conjunto das escolhas dos demais agentes relativas a determinado bem ou fator. Um importante desdobramento deste conceito refere-se aos impactos que a definição de padrões de interconexão entre as decisões dos agentes econômicos fundamentais – produtores e consumidores – acarreta sobre o processo de alocação de recursos nos mercados associados. Argumenta-se, nesse sentido, que existe uma associação entre a presença daquelas interconexões e a geração de um tipo particular de incentivo que afeta a alocação de recursos naqueles mercados. Nesta perspectiva, o valor de um bem ou tecnologia se eleva em função do número de unidades que são vendidas ou utilizadas no mercado¹. Assume-se, portanto, que uma determinada “rede” adquire maior valor e importância quanto maior for o número de agentes - usuários de um determinado produto ou tecnologia, por exemplo - a ela interligados. Uma característica fundamental desse tipo de estrutura é, portanto, a presença de um *feedback* positivo vinculado à presença de economias de escala pelo lado da demanda e/ou no uso de determinado fator (Shapiro e Varian, 1999). Como o valor da rede é proporcional à base instalada em termos de agentes que a ela se integram, a conexão de um usuário é valorizada mais que proporcionalmente pelos demais usuários (efetivos e potenciais), gerando um processo de retroalimentação que reforça aquelas externalidades e conduz à ampliação da própria rede.

A expansão coordenada da demanda em função de “externalidades de rede” está particularmente associada a princípios de compatibilidade técnica entre produtos ou sistemas. Em mercados onde os produtos estão baseados nestes princípios, a adequação de suas características a determinados requerimentos técnicos viabiliza um aumento simultâneo da performance e da utilidade associada ao consumo do produto. Supondo que a “compatibilidade” entre os diversos produtos gera externalidades que podem ser incorporadas, de forma independente, à função utilidade dos agentes, é plausível argumentar que a ampliação do estoque de produtos compatíveis conduz a uma ampliação subsequente da demanda, afetando positivamente a rentabilidade dos produtores² que atendem aquele mercado. Como ressaltam, Katz e Shapiro (1985), “*existem diversos produtos para os quais a utilidade que um consumidor obtém do consumo de um bem aumenta com o número de outros agentes que consomem aquele bem ...A utilidade que um determinado consumidor auferir de um bem depende assim do número de outros consumidores que estão presentes na mesma rede*”.

Alguns autores procuram avançar na discussão da maneira como a conformação das articulações entre agentes afeta a geração dos ganhos mencionados, atribuindo particular ênfase a estímulos capazes de proporcionar uma coordenação *ex-ante* das relações entre agentes nesses mercados. Katz e Shapiro (1986) e Economides (1995), por exemplo, distinguem dois tipos de “externalidades de rede” que atuam nesse sentido. As externalidades “diretas” envolvem situações nas quais o aumento do número de compradores de

¹ Economides (1995) salienta que esta propriedade deve ser qualificada, de maneira a incorporar o efeito gerado sobre as decisões individuais dos agentes. Assim, é possível supor que o valor de determinado bem se eleva em função de uma determinada expectativa sobre a quantidade do mesmo a ser vendida no mercado. Apesar do formato decrescente da curva de demanda, admite-se que esta curva tende a elevar-se em função de expectativas que apontam a possibilidade de um aumento da quantidade vendida no mercado, decorrente da progressiva expansão da “rede” que interliga os diversos consumidores.

² Ver a esse respeito, a análise de Berg (1989), na qual os benefícios da compatibilidade técnica são discutidos partir da hipótese de um modelo clássico de Duopólio.

determinado produto implica uma melhoria na qualidade-funcionalidade do mesmo³. Estas redes estão correlacionadas a “efeitos de clubes” (Antonelli, 1995) baseados num processo de “congestão”, através do qual cada usuário obtém um aumento de sua satisfação quando se eleva o número de usuários do mesmo bem ou de bens compatíveis. As externalidades “indiretas”, por sua vez, não envolvem efeitos físicos diretamente associados à expansão da “rede”, e sim outros benefícios que surgem em decorrência daquela expansão. Como exemplo, é possível citar os estímulos ao aumento da produção de bens complementares, decorrentes da expansão de uma determinada rede. Neste caso, supõe-se que, devido a rendimentos crescentes na esfera da produção, um número maior de produtos (ou insumos) complementares pode ser ofertado a um preço mais baixo, quando a rede se expande⁴.

A análise de Economides (1995) discute as diferenças entre externalidades diretas e indiretas tomando como referência a estrutura morfológica de uma determinada rede. A presença de externalidades diretas pode ser associada a uma estrutura composta por n nós interligados entre si através de ligações bi-direcionais (*two-way network*), numa rede relativamente densa. Nestas circunstâncias, cada consumidor pode ser identificado como um componente da rede, de tal modo que, para n componentes, existem $n(n-1)$ ligações potenciais, as quais, ao se expandirem, aumentam o benefício proporcionado pela estruturação da rede. Um novo ($(n+1)$ ésimo) agente integrado à rede gera externalidades diretas para os demais consumidores integrados à ela, ao adicionar $2n$ novas ligações potenciais, que apresentam um caráter complementar em relação às ligações existentes. No caso de redes que envolvem ligações unidirecionais (*one-way*) entre os nós, as externalidades adquirem um caráter indireto. Como exemplo, é possível citar uma rede associada a duas indústrias que produzem bens complementares (A e B), na qual os consumidores demandam combinações particulares $A_i B_j$. Supondo a existência de m variedades do componente A e n variedades do componente B , existiriam mn combinações potenciais de bens compatíveis. Neste caso, um consumidor adicional gera externalidades indiretas para outros consumidores, na medida em que aumenta a demanda pelos componentes do tipo A e B e, conseqüentemente (devido ao efeito de economias de escala), amplia potencialmente o número de variedades de cada componente que estão disponíveis no mercado.

Em contraste com as “externalidades de rede” observadas pelo lado da demanda, Liebowitz e Margolis (1994) ressaltam a diferenciação entre externalidades pecuniárias e tecnológicas vinculadas à estrutura de oferta. As externalidades pecuniárias manifestam-se através do sistema de preços, estando associadas aos impactos benéficos que o aumento da produção em um setor - e, *ceteris paribus*, a redução de preços - acarreta sobre outros setores a ele relacionados. As externalidades tecnológicas, por sua vez, constituem um subproduto natural das atividades produtivas realizadas, envolvendo uma expansão do nível de eficiência associado. Segundo Antonelli (1995), as externalidades tecnológicas podem ser definidas como “efeitos diretos – não mediados por transações de mercado – sobre a capacidade tecnológica de cada firma gerados pela complementaridade e interdependência entre atividades de P&D e os processos de aprendizado de outras firmas. Neste caso, as externalidades tecnológicas estão mais associadas às vantagens proporcionadas pela complementaridade e interdependência entre firmas na construção de novas tecnologias do que à complementaridade e interdependência presente no processo de produção em curso” (p.263).

Em função dos aspectos mencionados, as “externalidades de rede” podem ser associadas a situações nas quais identifica-se a presença de “um conjunto organizado de unidades de produção parcialmente separáveis que operam com rendimentos crescentes que podem ser atribuídos tanto a economias de escala como a uma função global de custos ‘sub-aditivos’ que refletem a presença de externalidades significativas

³ Como exemplo, é possível citar o caso do número de residências interligadas através de uma rede telefônica. Neste caso, a mera expansão da rede faz com que a mesma torne-se mais útil para as residências a elas interligadas.

⁴ A expansão da oferta e a queda do preço de softwares em decorrência da expansão do número de usuários de computadores pode ser descrita como um efeito desta natureza.

de natureza técnica, pecuniária e tecnológica, assim como efeitos relacionados a importantes externalidades de demanda”(Antonelli, 1995, p.257). Esta definição salienta a importância dos conceitos de interdependência e de compatibilidade no tocante às esferas da produção e da demanda dos mercados associados. Como principais características das “externalidades de rede”, concebidas a partir desse tipo de perspectiva, é possível mencionar (Antonelli, 1995):

- i) A vinculação dessas externalidades a um elenco variado de agentes que se articulam com base em princípios de compatibilidade e complementaridade técnica entre as atividades por eles realizadas;
- ii) A existência de um grau elevado de integração das atividades produtivas, devido à presença de externalidades técnicas, pecuniárias e de demanda;
- iii) A geração de externalidades tecnológicas e outros tipos de ganhos relacionados ao progresso técnico, devido à complementaridade entre as competências daqueles agentes;
- iv) A criação de estímulos à adoção de inovações relacionados à interdependência entre as funções objetivo dos agentes;
- v) A presença de “rendimentos crescentes” decorrentes do processo de especialização dos agentes e da geração de diversos ganhos de aprendizado.
- vi) A consolidação de uma infra-estrutura particular que conforma tais sistemas, a qual implica um certo grau de irreversibilidade quanto a investimentos realizados por agentes que a eles se integram.

Pelo lado da oferta, a presença de “externalidades de rede” está particularmente associada à existência de fortes sinergias na produção de bens ou serviços, sejam decorrentes das economias de escala, sejam vinculadas a economias de escopo (ou variedade) decorrentes da repartição dos custos variáveis entre os diferentes bens e serviços oferecidos. Além disso, é importante destacar a existência de subsídios cruzados entre diversos tipos de bens ou serviços, o que implica a montagem de um sistema de preços que, confrontado com os custos, garanta a reprodução e ampliação do excedente econômico gerado pela exploração daquelas externalidades. Em especial, o ajustamento entre preços e custos através de subsídios cruzados converte-se em mecanismo de defesa contra a exposição a uma concorrência excessiva em determinados segmentos do mercado, que pode vir dificultar a plena exploração dos ganhos técnico-econômicos vinculados a “externalidades de rede”⁵.

Outro aspecto que pode ser associado à presença de “externalidades de rede” diz respeito à geração de efeitos *spill-over* (“transbordamento”) decorrentes da compatibilização de esforços tecnológicos realizados pelos diversos agentes atuantes em determinado mercado. A hipótese subjacente é de que, na presença dessas externalidades, torna-se possível um aprofundamento de múltiplas formas de aprendizado tecnológico que favorecem uma ampliação dos níveis de eficiência dos produtores atuantes no mercado. Visando captar este fenômeno, é possível considerar o modelo analítico proposto por Cohen e Levinthal (1989), no qual o processo de aprendizado tecnológico é associado à ampliação do estoque de conhecimentos retidos pelas firmas, o qual, por sua vez, é visto como uma função dos investimentos em P&D da firma e de “fontes externas” de conhecimentos, a qual pode ser expressa através da seguinte equação:

$$Z = M_i + Y_i (\theta \sum M_j + T), \text{ onde:}$$

Z = ampliação do estoque de conhecimentos da firma i;

⁵ Como exemplo, é possível mencionar a adoção de práticas de subsídios cruzados, combinadas com a adoção de preços predatórios e a discriminação através da recusa de venda dos serviços de acesso à rede, implementadas por empresas verticalmente integradas que exercem algum tipo de controle monopolista sobre instalações essenciais no setor de serviços de telecomunicação.

M_i = investimento da firma em P&D;

Y_i = capacidade de absorção do conhecimento externo, medida pela fração daquele conhecimento que a firma se encontra apta a assimilar e explorar;

M_j = investimentos de outras firmas em P&D;

θ = medida de *spill-over*, isto é, do grau pelo qual os esforços em P&D de outras firmas “transbordam” para um *pool* de conhecimentos potencialmente disponíveis para a firma em questão ($0 \leq \theta \leq 1$);

T = montante de conhecimento externo à indústria potencialmente absorvível pela firma.

Algumas observações relativas aos componentes da equação são ilustrativas. Quanto à capacidade de absorção, verifica-se que ela localiza-se no intervalo $0 \leq Y \leq 1$, o qual expressa duas situações-limite: na primeira ($Y=1$), a firma é capaz de absorver todo conhecimento que se encontra disponível como domínio público; na segunda ($Y=0$), nenhum conhecimento externo é absorvido. Esta capacidade de absorção é função não apenas dos investimentos em P&D realizados *in-house*, mas também de uma variável β que expressa a “adequação” do conhecimento externo às necessidades da firma, o que facilita o processo de absorção⁶. Além disso, a importância dos gastos em P&D realizados por uma firma particular refere-se não apenas ao reforço da sua “capacidade de absorção” de conhecimentos externos, mas também à possibilidade dela identificar oportunidades tecnológicas capazes de aumentar sua eficiência e lucratividade. Dois fatores que afetam a exploração de oportunidades tecnológicas são incorporados ao modelo. O primeiro deles diz respeito a uma determinada “quantidade” de conhecimentos externos ao setor, que podem se converter em fontes de novas oportunidades, a qual se expressa no valor da variável T. O segundo fator, não captado diretamente na equação e sim na relação que articula a expansão do estoque de conhecimentos da firma à ampliação de sua rentabilidade, refere-se à maneira como novos conhecimentos afetam a performance tecnológica dos produtos e processos da firma em questão.

Com base no modelo de Cohen e Levinthal, é possível tecer alguns comentários sobre impactos da consolidação de “externalidades de rede” de natureza tecnológica sobre o aprofundamento dos mecanismos de aprendizado. Basicamente, estas externalidades operam de maneira a possibilitar uma “formatação” dos conhecimentos técnicos em função das exigências do processo competitivo, o que favorece a integração de competências complementares. Em especial, o efeito “transbordamento” (*spill-over*) associado às fontes externas de conhecimento tende a ser reforçado, em função de “externalidades de rede” que implicam uma maior padronização dos padrões e tecnologias adotados pelos diversos produtores. Considerando o modelo proposto, quatro impactos podem ser mencionados. Em primeiro lugar, a presença de externalidades tecnológicas aumenta a capacidade de absorção das firmas para um mesmo montante de P&D despendido internamente, na medida em que favorece a compatibilização dos padrões cognitivos e dos procedimentos de busca adotados pelos diferentes agentes. Em segundo lugar, a presença daquelas externalidades favorece uma maior coordenação das estratégias tecnológicas implementadas, possibilitando explorar de forma coordenada os ganhos vinculados a determinada trajetória. Em conseqüência, os conhecimentos gerados tendem a estar melhor calibrados em relação às necessidades das firmas, o que favorece o processo de absorção. Em terceiro lugar, o acesso a conhecimentos externos à indústria, a partir dos quais são vislumbradas novas oportunidades tecnológicas, é facilitado, na medida em que, na presença daquelas externalidades, é possível focalizar de maneira mais precisa eventuais pontos de estrangulamento a serem corrigidos. Finalmente, em quarto lugar, há indícios de que, na presença daquelas externalidades, torna-se possível incrementar a performance tecnológica dos processos produtivos, por meio de uma otimização logística baseada na difusão de técnicas de gerenciamento da produção adaptadas aos padrões tecnológicos vigentes na indústria.

⁶ Esta adequação é função da “complexidade” do conhecimento externo e do grau de “focalização” do esforço a ele associado em termos das necessidades da firma em questão.

A partir desse tipo de referencial, é possível ressaltar a articulação existente entre a geração de “externalidades de rede” e o intercâmbio sistemático de informações e conhecimentos. Em particular, observa-se que a circulação de conhecimentos e informações atua de modo a ampliar a eficiência produtiva e o potencial inovativo dos agentes atuantes em determinado mercado. Este intercâmbio informacional resulta não apenas na geração de inovações, como também no aprofundamento das competências tecnológicas e organizacionais retidas pelos agentes⁷. A ênfase atribuída por alguns autores a externalidades vinculadas ao intercâmbio de informações e competências representa uma modificação importante em relação à análise tradicional. De fato, como a análise tradicional atribui maior importância às externalidades de demanda, o dinamismo de uma determinada rede é geralmente correlacionado apenas à expansão de sua infra-estrutura física, através da qual vão sendo incorporados agentes similares que se beneficiam do efeito gerado, sem que isso requeira, necessariamente, uma intensificação das interações estabelecidas entre eles. Em contraste, a ênfase no papel crucial de externalidades tecnológicas semelhantes às descritas ressalta a importância da diversidade entre agentes (e entre suas respectivas competências) para a geração de ganhos de eficiência, particularmente associados a fenômenos de aprendizado. Nesse sentido, Antonelli (1995, p.270) identifica três importantes tendências: (i) a vantagem das redes “diversificadas” no tocante à criação de novas tecnologias, na medida em que as mesmas estimulam processos de experimentação, aprendizado e seleção que favorecem a exploração de novas oportunidades; (ii) a capacidade das redes “diversificadas” gerarem melhorias tecnológicas de maneira mais intensa do que as redes “monolíticas”; (iii) a capacidade das redes “diversificadas” induzirem a difusão mais acelerada de novas tecnologias com impacto desestabilizador sobre a base tecnológica existente, enquanto as redes monolíticas dificultariam esse tipo de ruptura, favorecendo um processo de “saturação” das tecnologias existentes

A apropriação dos ganhos técnico-produtivos proporcionados pela consolidação dessas externalidades não é, porém, automática. Neste sentido, a possibilidade de determinados agentes usufruírem os benefícios proporcionados pela presença de externalidades de rede depende de uma série de fatores. Em primeiro lugar, torna-se necessário que os agentes selecionem uma determinada “rede” - assim como o padrão tecnológico associado - dentre aquelas existentes no mercado. Esta questão não é trivial, pois a integração dos agentes à rede, assim como a ampliação de extensão física da mesma, pode envolver custos específicos. Neste sentido, as análises sobre o tema usualmente recorrem a exemplos estilizados, abordando dois processos inter-relacionados: (i) a análise (modelagem) do processo de transição no sentido de um determinado tipo de rede que se torna dominante (associado, por exemplo, a um novo tipo de *design* ou a um novo tipo de padrão tecnológico de determinado produto); (ii) a identificação de elementos capazes de explicar - geralmente através de uma análise comparativa - casos de sucesso ou fracasso em termos da estruturação destas redes⁸. Um segundo aspecto refere-se à identificação do tamanho adequado (ou “ótimo”) da rede. Quanto a este aspecto, a análise tradicional geralmente pressupõe uma exaustão progressiva dos benefícios marginais proporcionados pela expansão do tamanho da rede, conforme salientado por Liebowitz e Margolis (1994, p. 140). Assim, considerando uma determinada estrutura de custos associados à conexão de novos agentes à rede, seria possível definir um tamanho ótimo da estrutura, que permitiria a maximização do retorno para os agentes a ela integrados⁹.

De maneira a viabilizar a obtenção dos ganhos mencionados, é particularmente importante a montagem de uma “arquitetura” de interconexão entre componentes baseada em princípios de

⁷ Antonelli (1995) discute esse aspecto, procurando modelar o impacto da presença de externalidades tecnológicas, considerando uma “função de produção de conhecimentos”, análoga à proposta por Griliches (1979)

⁸ Dois exemplos são recorrentemente utilizados como ilustração deste processo: o caso do teclado QWERTY (David, 1985) e a concorrência entre os sistemas alternativos de videocassete VHS e Betamax (Arthur, 1989).

⁹ A análise tradicional supõe que o custo marginal de conexão de novos agentes à rede é crescente, o que poderia ser explicado em função de dificuldades técnicas associadas à sua expansão física.

compatibilidade técnica. A presença de compatibilidades técnicas está associada a uma questão particularmente importante: a possibilidade de existir um conflito entre os padrões de diferentes redes que concorrem pela adoção de usuários. Basicamente, este conflito ocorre devido à presença de um efeito de “aprisionamento” (*lock-in*) dos agentes conectados a determinada rede, ocasionado pelos elevados custos potencialmente associados à troca do sistema escolhido. Este aprisionamento é resultante da progressiva sofisticação da infra-estrutura do sistema e da disponibilização de uma oferta de produtos e serviços secundários, que reforçam a presença de economias de escala e escopo associadas à expansão da rede. Destaca-se também o papel desempenhado por firmas que operam como “complementadores” (Shapiro e Varian, 1999), as quais são responsáveis pelo desenvolvimento de componentes críticos do sistema, cuja disponibilidade condiciona fortemente as decisões estratégicas dos demais agentes. O aprisionamento gerado atinge não apenas clientes e usuários, mas também os diversos fornecedores de bens e serviços compatíveis, resultando na realização de investimentos em ativos específicos e complementares que reforçam o processo.

Dentre as diversas formas de aprisionamento associadas à consolidação de estruturas em rede, é possível destacar aquela representada por uma determinada tecnologia que se torna padrão. Neste caso, o processo de aprisionamento, ao mesmo tempo em que proporciona uma série de vantagens em termos de eficiência e bem-estar, também resulta em desvantagens e problemas relevantes. Segundo Shapiro e Varian (1999) as principais vantagens de um padrão que se torna dominante referem-se ao reforço da compatibilidade, responsável pela geração de economias de escala e escopo que aumentam o “valor” da rede. Além disso, é possível destacar a redução de riscos tecnológicos para os consumidores, a maior possibilidade de aceitação de novas tecnologias vinculadas àquele padrão e o deslocamento da concorrência “para dentro” do mercado, com a exclusão de empresas não adaptadas ao padrão dominante. Em contraste, algumas desvantagens decorrentes do aprisionamento também podem ser destacadas, como a perda de variedade e a dificuldade natural para coordenar ações e esforços visando a implementação de um padrão consensualmente aceito, além do fato de que a tecnologia selecionada pode não ser a melhor disponível do ponto de vista estritamente técnico.

Outro tópico particularmente enfatizado na discussão de externalidades em rede diz respeito à definição de “padrões técnicos”. Filippi, Pierre e Torre (1996, p.91-92), numa sistematização sobre o tema, identificam duas linhas de análise que exploram esse tópico. A primeira delas baseia-se num programa de pesquisa orientado à “modelização” estocástica do processo de emergência de um determinado padrão técnico. Estes modelos procuram explicar como mecanismos de “auto-reforço” (*self-reinforcing mechanisms*), resultantes da adoção inicial de determinada tecnologia, acabam originando uma trajetória cumulativa de aprendizado, que, por sua vez, gera uma situação de *lock-in* que impede, ou dificulta, a adoção de outras tecnologias, mesmo quando estas proporcionam resultados em termos de performance aparentemente mais satisfatórios, conforme salientado nas análises de David (1985) e Arthur (1989). A segunda linha de análise está baseada na análise da “competição entre padrões”, desenvolvida através de um tipo de modelização que considera não apenas o comportamento passado dos agentes - expresso num determinado tamanho de rede no momento em que a decisão é tomada - como também algum tipo de antecipação dos comportamentos futuros. Estes modelos procuram dinamizar a análise realizada, associando a concorrência entre padrões a um jogo seqüencial, através do qual as firmas selecionam o grau de compatibilidade entre seus produtos e, a partir daí, as formas de concorrência a serem privilegiadas, seja via preços ou via quantidades (Katz e Shapiro, 1985; Economides, 1996).

Considerando essa variedade de contribuições, é possível conceber a consolidação de “externalidades de rede” menos como um atributo intrínseco de determinadas tecnologias e mais como uma espécie de “solução institucional” que facilita a definição de padrões técnicos eficientes em determinados mercados. A definição desses “padrões técnicos” funciona, assim, como mecanismo de proteção contra o acirramento da competição, na medida em que implica a exclusão “*a priori*” de firmas não adaptadas aos mesmos. O

processo de normalização funciona também como fonte de barreiras à entrada, as quais são construídas a partir de "*exclusionary standards*" que impedem a penetração de novas firmas nos mercados associados. O aumento do nível de eficiência proporcionado pela definição desses padrões, por sua vez, decorre de uma série de fatores (Dodgson, 1993, p. 77): (i) a redução de custos transacionais, ao facilitar o reconhecimento de características técnicas de produtos e componentes; (ii) a provisão de economias de escala devido à simplificação do *design* de produtos e processos; (iii) a obtenção de vantagens decorrentes da compatibilidade de componentes; (iv) o estímulo à inovação, devido à definição de códigos que permitem a equalização de patamares técnicos entre os vários agentes.

A consolidação de interdependências técnicas, com o advento da criação de padrões consensualmente aceitos, facilita o enfrentamento das incertezas do mercado, mitigando um importante fator de incerteza tecnológica. Segundo Langlois e Robertson (1992), estes padrões estão particularmente associados à difusão de princípios de compatibilidade entre componentes, o que possibilita uma melhor visualização de gargalos técnicos e um melhor enfrentamento da incerteza ambiental, devido à minimização de "irreversibilidades" técnicas (*sunk costs*). Estes padrões funcionam, assim, como uma espécie de "bem público", possibilitando a maior convergência dos esforços tecnológicos realizados pelos diversos agentes atuantes em determinado mercado. Por outro lado, é possível identificar um processo de arbitragem entre normalização e especificidade na geração de "externalidades de rede", pois, no curto prazo, o esforço de normalização implica um "sobre-custo" que será eventualmente compensado por economias de variedade que permitem explorar novas oportunidades. Além disso, os agentes econômicos podem opor barreiras à normalização em virtude de sua variabilidade natural, o que implica negociações complexas no sentido da definição de normas e padrões. É comum também que estes padrões sejam utilizados como instrumentos de competição entre redes distintas: neste caso, dois ou mais padrões são desenvolvidos em paralelo, cabendo ao mercado selecionar qual deles melhor se adapta aos requerimentos técnicos da produção e da demanda.

O problema relativo à definição de "padrões" adequados no âmbito de cada rede torna-se mais importante face aos impactos das modernas tecnologias de informação. Com o advento destas tecnologias, consolida-se uma tendência à "desintegração" de indústrias, em função do desenvolvimento de "tecnologias de interface" que garantem a rápida comunicação entre equipamentos e sistemas. A busca de uma interconexão efetiva entre sistemas independentes favorece a disseminação de normas ou padrões mais abertos, que estimulam a compatibilidade e o aprofundamento das interfaces entre sistemas de diversas redes (Coriat et alii, 1994). As firmas que operam como "complementadores" (Shapiro e Varian, 1999) podem também favorecer esse processo, na medida em que os componentes críticos por elas desenvolvidos incorporem soluções técnicas mais "abertas". O imperativo da imposição de padrões relativamente "abertos" altera o equilíbrio das forças concorrenciais nas respectivas indústrias, definindo um novo pólo de competição - os padrões técnicos adotados - associado à capacidade de cada rede influenciar as orientações globais da indústria. Desse modo, a definição de normas e padrões técnicos converte-se não apenas em requisito para a estruturação de redes já estabelecidas, como também em fator que estimula a busca de novas articulações entre agentes, a partir das quais se poderia validar e reforçar determinados padrões.

3. Características de Sistemas Tecnológicos Complexos

As características específicas das externalidades em rede prevaletentes em cada mercado estão diretamente relacionadas às particularidades do ambiente tecnológico associado. Neste sentido, é possível considerar a análise de Lundgren (1995)¹⁰, que enfatiza a importância do conceito de "sistema tecnológico"

¹⁰ Segundo este autor, "*the pattern of the whole network would then be controlled by its specific pattern of interrelated firms. But this pattern is also controlled by the technological system, which in turn is controlled by changes in the network....Thus it is the*

enquanto instrumento que permite delimitar o ambiente no interior do qual operam agentes interdependentes. Carlsson e Stankiewicz (1991) correlacionam este conceito às interações institucionalizadas entre agentes envolvidos com determinada atividade produtiva, as quais podem ser associadas a uma infra-estrutura particular, que influencia a geração, difusão e utilização de tecnologias. De acordo com aqueles autores, tais sistemas deveriam ser definidos mais em função dos fluxos de competências e conhecimentos que circulam em seu interior do que em função de fluxos usuais de bens e serviços. Em um estudo sobre a experiência de indústrias suecas, Carlsson (1994) identifica as principais dimensões a serem consideradas na descrição destes sistemas em investigações empíricas: o potencial de expansão do sistema (associado ao ciclo de vida das tecnologias críticas que lhe dão sustentação); as competências retidas por demandantes e ofertantes; o nível de colaboração cliente-fornecedor; a intensidade dos esforços em P&D; a sofisticação da infra-estrutura acadêmica; a orientação das políticas governamentais e a presença de instituições ponte entre as esferas pública e privada, responsáveis pela disseminação de conhecimentos e informações relevantes entre os membros do sistema.

É possível combinar a definição mais “institucional” de sistemas tecnológicos desenvolvida por Carlsson com outras definições que enfatizam características tecnológicas intrínsecas a estes sistemas. Maisseu (1995), por exemplo, correlaciona as características dos sistemas tecnológicos a propriedades e atributos do produto a ser gerado. Este produto pode ser concebido como um “sistema” organizado e complexo, baseado na montagem e combinação de partes que conformam um todo unitário. Cada produto pode ser referenciado a um sistema estruturado em torno de determinados princípios funcionais, envolvendo a agregação de múltiplos elementos com o intuito de satisfazer um objetivo previamente definido. Produtos estruturados na forma de sistemas de componentes poderiam ser desmembrados em subconjuntos definidos com base numa classificação “funcional”. Considerando seu grau de complexidade, estes subsistemas também poderiam ser desmembrados em diferentes componentes, definidos com base numa classificação estritamente tecnológica, aos quais se integram “unidades técnicas elementares”. Nesta perspectiva, um produto P poderia - do ponto de vista técnico - ser desmembrado em subconjuntos S_s , que, por sua vez, poderiam ser desmembrados em componentes C_s , e, finalmente, desmembrados em unidades técnicas elementares t_s .

Maisseu identifica três critérios básicos para diferenciar os componentes integrados a estes sistemas e suas respectivas tecnologias: (i) a relevância (isto é, a participação relativa) dos componentes no custo total de produção; (ii) o grau de maturidade das tecnologias incorporadas nos componentes; (iii) a relevância dos componentes em termos de algum critério de performance funcional. De acordo com estes critérios, quatro tipos de componentes podem ser identificados. Em primeiro lugar, é possível identificar componentes *triviais*, com influência reduzida nas propriedades e na qualidade do produto, para os quais o custo é relativamente reduzido, quando comparado ao custo total do produto. Componentes triviais costumam estar baseados em tecnologias maduras, cujo domínio é relativamente pouco problemático. Em segundo lugar, é possível identificar componentes *básicos* com influência considerável na estrutura de custos do produto. Estes componentes também baseiam-se em tecnologias maduras, dominadas por um grande número de competidores. Devido a estandardização destes componentes, qualquer ineficiência na provisão dos mesmos afeta negativamente a performance do produto. Em terceiro lugar, destacam-se componentes *críticos*, para os quais a função realizada afeta decisivamente a performance do produto, determinando a sua aquisição no mercado. Neste caso, apesar do custo do componente não ser necessariamente dominante em relação ao custo total do produto, ele desempenha um papel crucial na determinação das características, das propriedades e da qualidade final do mesmo. As tecnologias incorporadas nestes componentes geralmente se encontram num estágio inicial de seu ciclo de vida, afetando fortemente a performance do produto. Finalmente, um quarto

interplay between technological systems and network of interrelated firms that begets the evolution of industrial networks” (Lundgren, 1995, p.77).

tipo de componente, denominado componente *chave*, compreende uma combinação das características previamente mencionadas: enquanto seu custo é relativamente alto em relação ao custo total de produção, suas características desempenham um papel crucial na performance funcional do produto; além disso, o acesso às tecnologias incorporadas no componente é limitado, seja porque elas ainda se encontram numa fase inicial de desenvolvimento, seja porque as mesmas se encontram protegidas por patentes.

A complexidade de um determinado sistema tecnológico é função não apenas da variedade de componentes integrado em seu interior, como também das interconexões estabelecidas entre eles. Neste sentido, Lundgren (1995) utiliza conceitos originariamente desenvolvidos por David (1987) para associar tais sistemas à noção de “conectividade técnica” (*technical connectedness*) e aos benefícios econômicos provenientes da integração de seus componentes (*system’s integration*). Na caracterização de tais sistemas são considerados não apenas aspectos relacionados à performance das atividades industriais - podendo-se destacar a presença de economias de escala e escopo - como também a presença de inter-relacionamentos tecnológicos (*technological interrelatedness*) que ocorrem quando o funcionamento das partes é contingente com o funcionamento do sistema em seu conjunto, criando uma “indivisibilidade sistêmica” (*system’s indivisibility*) que afeta sua performance. Este aspecto também é mencionado por Singh (1997), que ressalta o “caráter sistêmico” das tecnologias complexas, as quais abarcam uma diversidade de componentes, usualmente organizados numa hierarquia de subsistemas, de tal modo que a performance do sistema em seu conjunto é fortemente dependente da performance de seus componentes e subsistemas. Outro aspecto importante refere-se à existência de “interações múltiplas” entre os componentes do sistema, relacionadas a mecanismos de retro-alimentação (*feedbacks*) em termos do nível de performance - entre componentes no interior de subsistemas, entre componentes inseridos em diferentes subsistemas e entre os próprios subsistemas estruturados em diversos níveis hierárquicos. É possível mencionar também a impossibilidade de se decompor ou desmembrar sistemas complexos, sem afetar e degradar seriamente a performance obtida.

Kline (1991) avança nessa discussão, procurando estimar um índice de complexidade para tecnologias e “sistemas sócio-técnicos”, o qual estaria baseado na agregação de três medidas principais: (i) o número de pontos a partir dos quais podem ocorrer mudanças técnicas no interior daqueles sistemas; (ii) o número de componentes que necessitam ser integrados de maneira a configurar adequadamente aquele sistema; (iii) o número de instrumentos (ou modos) de controle existentes no interior do sistema, aos quais é possível acrescentar aqueles que o conectam ao ambiente exterior. Henderson e Clark (1990) também abordam esta questão, utilizando o conceito de “configuração da arquitetura do produto” para definir os padrões através dos quais componentes e subsistemas interagem entre si. Estes autores ressaltam que os requisitos de compatibilidade entre componentes e a necessidade de um certo balanceamento entre a performance dos mesmos condicionam o aperfeiçoamento do sistema, principalmente quando a realização de melhorias em um componente ou subsistema particular exige mudanças nos componentes complementares ou, até mesmo, uma reconfiguração geral da sua arquitetura. Diversos outros autores discutem este fenômeno, correlacionando-o à identificação de pontos de estrangulamento que orientam o desenvolvimento do sistema tecnológico em seu conjunto, os quais poderiam ser associados aos conceitos de “*focusing devices*” (Rosenberg, 1982), “*technological guideposts*” (Sahal, 1985) e “*reverse salients*” (Hughes, 1983). Metcalfe (1995, p. 36) ressalta a importância destas análises, na medida em que elas incorporam uma concepção “sistêmica” da tecnologia e das oportunidades e pressões que modulam a evolução e transformação de sistemas tecnológicos complexos.

Outra contribuição interessante para a caracterização da “complexidade” dos sistemas tecnológicos pode ser encontrada em um trabalho de Sanchez e Mahoney (1996). Utilizando o conceito de “sistemas desmembráveis” (“*nearly decomposable system*”), originariamente formulado por Simon (1962), eles enfatizam que o *design* dos produtos difere fundamentalmente no grau através do qual os mesmos podem ser decompostos em componentes “fracamente articulados” (“*loosely coupled*”) ou “fortemente articulados”

(*tightly coupled*). Neste sentido, o conceito de “modularidade” envolve uma forma particular de design que cria intencionalmente um alto grau de interdependência entre componentes, por meio da padronização das interfaces técnicas entre os mesmos. Conectando o conceito de “modularidade” à noção de “arquitetura de produto” desenvolvida por Henderson e Clark (1990), Sanches e Mahoney definem uma “arquitetura modular de produto” como “*uma forma especial de design do produto que utiliza interfaces padronizadas entre componentes para criar um produto com arquitetura flexível. No design modular de produto, as interfaces padronizadas entre componentes são especificadas de modo a possibilitar a substituição de uma maior variedade de componentes na arquitetura do produto*” (1996, p. 66). Os benefícios da modularidade na estruturação de sistemas tecnológicos complexos são salientados por Langlois e Robertson (1992), que ressaltam, dentre estes benefícios, os seguintes aspectos: (i) a emergência de vários pontos para a entrada de novas idéias, que facilitam a internalização de mudanças tecnológicas; (ii) a implementação de uma divisão de trabalho que gera estímulos à introdução de inovações autônomas, permitindo que os agentes concentrem sua atenção no desenvolvimento de componentes particulares; (iii) a possibilidade de identificar estrangulamentos tecnológicos na produção de componentes, os quais atuam como pontos focais que orientam a busca de novos desenvolvimentos.

As exigências de compatibilidade técnica inerentes a cada sistema tecnológico afetam diretamente a conformação da estrutura industrial subjacente. Em particular, é possível supor que, quanto mais complexo for esse sistema em determinada indústria, mais relevante será a definição de padrões técnicos que orientem a interconexão entre atividades em seu interior. Nesse sentido, é possível utilizar como ilustração o caso de indústrias responsáveis pela geração de produtos complexos de caráter único, que requerem a integração de diferentes sistemas de componentes¹¹. Os produtos gerados nessas indústrias possuem um elevado valor (ou custo) unitário e são altamente intensivos em atividades de engenharia, sendo produzidos como itens unitários em função das necessidades de consumidores individuais. A complexidade técnica dos produtos fabricados por essas indústrias – geralmente baseados na compatibilização de diferentes subsistemas e da estrutura de hardware e software - requer também a integração de conhecimentos e competências extremamente diferenciados.

O Quadro 1 apresenta uma sistematização das características dessas indústrias. Os produtos gerados envolvem conhecimentos técnicos complexos, assim como múltiplas interfaces entre uma hierarquia de subsistemas relativamente autônomos. Cada um destes subsistemas envolve um conjunto específico de tecnologias que necessitam ser integradas, de tal modo que, para o produto como um todo, a performance funcional está diretamente associada a uma integração de subsistemas adequada às necessidades do usuário. Estes bens são produzidos de forma unitária ou em escalas reduzidas, adaptando-se, em termos do nível e do padrão de performance, às exigências e necessidades de consumidores individuais. Os principais exemplos deste tipo de produto citados na literatura são: sistemas de telefonia e telecomunicação; sistemas de controle de tráfego aéreo, aeronaves e simuladores de vôo; sistemas de automação bancária; computadores do tipo *mainframe*; plantas nucleares e hidroelétricas; plataformas *offshore*; sistemas de satélite e defesa; sistemas de televisão de alta-definição (HDTV) e *broadcasting*. Dentre as principais características dos sistemas tecnológicos relacionados a essas atividades, destacam-se (Hobday, 1997): (i) uma estrutura complexa de componentes, baseada em sistemas autônomos, porém inter-relacionados, através de um arranjo coordenado por “integradores de sistemas”; (ii) a forte interconectividade técnica associada ao incremento da performance conjunta dos diversos subsistemas, envolvendo a geração de soluções customizadas que dependem da integração desses sistemas; (iii) a importância do processo de *learning-by-using* entre produtores e compradores sofisticados; (iv) a existência de uma base de conhecimentos complexa, com

¹¹ Ao discutir as características desse tipo de indústria Hobday (1997) ressalta que “*the term ‘complex’ is used to reflect the number of customised components, the breadth of knowledge and skills required and the degree of new knowledge involved in the production, as well as other critical product dimensions*”.

vários pontos para incorporação de inovações. Neste contexto, a definição de "padrões" tecnológicos reveste-se de uma importância fundamental, devendo possibilitar não apenas a necessária integração dos componentes e subsistemas, como também a obtenção de uma solução mais eficaz em termos de performance funcional do sistema. Esta definição pode envolver negociações complexas entre diversos agentes para selecionar uma solução adaptada aos interesses de produtores e consumidores, convertendo estas indústrias em objeto recorrente de intervenções e regulações de natureza político-institucional.

Quadro 1 – Características de Indústrias Baseadas em Sistemas Complexos

Características do Produto	Interfaces complexas entre componentes; caráter multifuncional; elevado custo unitário; ciclo de produção longo (décadas); utilização de diversos <i>inputs</i> em termos de habilidades e conhecimentos; ligação <i>upstream</i> com setor de bens de capital
Características da produção	Produção baseada em projetos unitários, visando atender determinadas propriedades funcionais rigidamente definidas; integração de subsistemas e componentes; presença de economias de escala na provisão de componentes, apesar da produção em massa não ser relevante
Processos Inovativos	Forte relação usuário-produtor; processo flexível, baseado em habilidades específicas; inovação e difusão inter-ligadas; padrões de inovação negociados <i>ex-ante</i> entre fornecedores, usuários, etc.; conhecimento incorporado em pessoal qualificado
Estratégias competitivas e Coordenação da Inovação	Foco no <i>design</i> e desenvolvimento do produto; coordenação orgânica; integração sistêmica de competências; gerenciamento de alianças simultâneas em projetos temporários
Coordenação e Evolução da Estrutura Industrial	Redes estruturadas como principal forma de governança; alianças simultâneas entre múltiplas firmas baseadas em projetos específicos; alianças temporárias para produção e inovação; estabilidade de longo-prazo dos relacionamentos para possibilitar integração de sistemas
Características do Mercado	Tendência a estrutura duopolística; pequeno número de grandes transações; mercados administrados; importância de fatores político-institucionais; mercados fortemente regulados e/ou controlados; preços negociados; mercados parcialmente contestáveis

Fonte: adaptado de Hobday (1997)

As características dos esforços inovativos são outro aspecto que distingue indústrias orientadas à geração de produtos complexos de outros tipos de indústrias. Em particular, observa-se que, nessas indústrias, a dinâmica inovativa está associada a múltiplas interfaces entre componentes e subsistemas, contemplando também um envolvimento ativo dos usuários no processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas soluções tecnológicas. Em função da complexidade dos produtos gerados, é possível identificar diferentes “pontos” a partir dos quais inovações poderiam ser incorporadas; contudo, a dinâmica inovativa geralmente envolve a necessidade de compatibilizar os atributos técnicos dos diferentes componentes e subsistemas. A presença de problemas em um subsistema ou componente particular (compreendido como “saliente reverso”) pode resultar em um estrangulamento que compromete toda a performance do sistema. Como resultado das propriedades não-lineares que caracterizam as interconexões entre subsistemas, o processo inovativo baseia-se não apenas em mudanças nos componentes e tecnologias utilizadas, mas também as maneiras como estes componentes e subsistemas são configurados de maneira a definir a arquitetura do produto. Por um lado, particular importância pode ser atribuída a montagem de uma infra-estrutura de hardware e software que atenda as necessidades específicas dos usuários. Por outro lado, devido às interconexões e interdependências técnicas entre subsistemas, os padrões de inovação necessitam ser acordados *ex-ante* entre os agentes, de maneira a evitar problemas que poderiam afetar negativamente a performance do sistema com um todo.

4. Externalidades em rede e compatibilidade técnicas em sistemas complexos

A associação existente entre o reforço da compatibilidade técnica entre bens e componentes e o fortalecimento das “externalidades de rede” em diferentes mercados tem sido um tema recorrentemente debatido pela moderna literatura microeconômica. Nestas análises, supõe-se que, à medida que um determinado produto ou sistema torna-se mais compatível com outros sistemas, novos consumidores e produtores são estimulados a consumir e produzir aquele produto. Argumenta-se, em especial, que o reforço da compatibilidade técnica traduz-se numa ampliação do tamanho do mercado que beneficia os consumidores em função da ocorrência de externalidades de demanda. O desenvolvimento dessas análises recorre à elaboração de modelos que procuram retratar a dinâmica da concorrência entre tecnologias alternativas, ressaltando os efeitos que a existência de uma determinada “base instalada” acarreta sobre as escolhas dos agentes individuais. Dentre os principais aspectos contemplados nestas análises, é possível ressaltar:

- i. A existência de um processo de “atração” dos consumidores em relação a determinada tecnologia já consolidada, gerando uma ampliação da sua “base instalada” (Katz e Shapiro, 1985 e 1986) que teria desdobramentos cumulativos em termos do reforço de externalidades nesse tipo de mercado;
- ii. A identificação e análise de determinados “custos de mutação” (*switching costs*) que podem conferir um importante poder de mercado a determinadas firmas *vis à vis* seus consumidores (Klemperer, 1987), inclusive fazendo com que a indústria fique de certa forma “aprisionada” numa tecnologia ineficiente;
- iii. A identificação dos impactos gerados pelo reforço da “compatibilidade” entre componentes de um bem estruturado na forma de determinado “sistema” (Katz e Shapiro, 1985 e 1986), o que permitiria reforçar a variedade de alternativas técnicas capazes de proporcionar um maior grau de satisfação dos consumidores;
- iv. A discussão sobre a importância da presença de um “adaptador” (Farrell e Saloner, 1992) que conecte duas tecnologias distintas, o qual está associado a um determinado custo e é capaz de reforçar o grau de compatibilidade existente entre elas;
- v. A existência de um processo de arbitragem entre padronização e variedade na identificação do nível de compatibilidade que se mostra mais satisfatório do ponto de vista do nível geral de bem estar.

No caso de sistemas complexos, a exploração efetiva do potencial das “externalidades de rede” requer a realização de adaptações que, muitas vezes, envolvem “custos de mutação” (*switching costs*) associados a investimentos específicos, bem como a garantia da manutenção de patamares adequados de compatibilidade entre seus componentes. Nestas condições, a arbitragem entre os processos de padronização e o reforço da variedade entre componentes (enquanto fator gerador de novas alternativas técnicas) torna-se um aspecto crítico, devendo ser referenciada às interconexões que se estabelecem entre a expansão da “base instalada” do sistema e os custos de desenvolvimento de novas alternativas técnicas mais eficientes que não impliquem perda de compatibilidade. Como consequência desse processo, consolida-se, uma competição “entre sistemas”, a qual se distingue da competição entre produtos individuais devido a três aspectos principais (Katz e Shapiro, 1994): (i) expectativas de ganhos relacionadas à integração dos agentes a determinado sistema; (ii) requisitos de compatibilidade e padronização entre produtos e sistemas; (iii) exigências em termos da coordenação das decisões necessárias à operação eficaz de tais sistemas.

Considerando estes aspectos, a elaboração de uma explicação convincente para os ajustes que ocorrem em mercados associados a sistemas tecnológicos complexos requer que, pelo menos, quatro tópicos sejam considerados (Katz e Shapiro, 1994, p.94-95). Em primeiro lugar, estes ajustes requerem uma

coordenação explícita dos investimentos realizados, que muitas vezes não é obtida através dos mecanismos tradicionais de mercado. São bastante comuns situações nas quais esta coordenação exige ajustes na estrutura de propriedade das diversas tecnologias e componentes a serem integrados ao sistema, além do estabelecimento de contratos de longo prazo, distintos dos contratos tradicionais vigentes no mercado, e da mobilização de instâncias particulares dedicadas à definição de normas e padrões consensualmente aceitos. Em segundo lugar, é possível citar o problema de coordenação das decisões de consumo dos agentes, na medida em que o valor do engajamento à “base instalada” de um determinado sistema para um consumidor particular seja positivamente afetado pelo alargamento da mesma devido à entrada de outros agentes. Um terceiro problema refere-se à compatibilização entre o hardware e o software integrados à rede¹². Por um lado, a integração hardware-software gera uma série de efeitos sobre as decisões de consumo (*positive feedback effects*), na medida em que os consumidores privilegiem aquele tipo de compatibilidade. Por outro lado, esta compatibilidade estimula a obtenção de economias de escala na produção de produtos e componentes, indutora de um maior nível de eficiência. Finalmente, um quarto problema refere-se aos desdobramentos dos requisitos de compatibilidade entre produtos nas etapas anteriores à própria produção (pesquisa e desenvolvimento, projetamento, realização de testes, etc.). Conforme salientam Katz e Shapiro, “apesar da compatibilidade gerar benefícios óbvios, a obtenção e manutenção dessa compatibilidade muitas vezes envolve um sacrifício em termos da variedade de produtos e de restrições ao processo de inovação. Assim, uma questão importante diz respeito à capacidade dos mercados determinarem um grau adequado de compatibilidade” (1994, p.95).

A intensidade da concorrência entre sistemas complexos distintos depende do grau de compatibilidade existente entre as tecnologias respectivas. No tocante à estrutura de hardware-software, dois sistemas são incompatíveis quando os componentes de um não podem ser utilizados no outro com a mesma eficácia¹³. A concorrência entre sistemas incompatíveis pode ser extremamente acirrada, envolvendo estratégias mercadológicas que procuram, explicitamente, ressaltar as vantagens de determinado sistema *vis-à-vis* seus concorrentes¹⁴. A possibilidade de sobrevivência de sistemas incompatíveis, ou até mesmo o acirramento da competição entre eles, depende de uma série de fatores. Inicialmente, é possível mencionar a existência de um *trade-off* entre variedade e padronização que é valorado de forma particular pelo mercado em cada momento no tempo. Em particular, este *trade-off* pode se aprofundar em momentos de mudança tecnológica¹⁵, nos quais os agentes podem se tornar mais sensíveis a novas soluções técnicas comprovadamente superiores às existentes. Existem também custos específicos associados à transição de um sistema para outro (*switching-costs*), que são difíceis de serem medidos e de serem incorporados em contratos. Estes custos serão mais ou menos importantes em função dos princípios de inércia e de uma série de “fricções” (Katz e Shapiro, 1994, p.108) que orientam a seleção de um determinado sistema, muitas delas influenciadas por fatores de natureza político-institucional.

Apesar da possibilidade da competição entre sistemas incompatíveis perdurar e ser reforçada, existem alguns fatores que atuam no sentido de estimular a busca de uma maior compatibilidade entre eles. Quanto a esse aspecto, é possível diferenciar dois tipos de compatibilidade: a compatibilidade “horizontal” refere-se

¹² Os conceitos de hardware e software considerados nesse caso estão associados a uma definição mais ampla do que a definição corriqueira do ambiente computacional, envolvendo, no primeiro caso, a infra-estrutura física da rede e, no segundo, os padrões cognitivos e as rotinas de operação associadas.

¹³ Dois tipos de incompatibilidade podem ser caracterizados. A incompatibilidade uni-direcional (*one-way*) ocorre quando um componente de um sistema opera adequadamente em outro, mas o inverso não é verdadeiro. Já a incompatibilidade bi-direcional (*two-way*) existe quando componentes de um sistema não operam em qualquer outro e vice-versa.

¹⁴ As mesmas estratégias utilizadas para reforçar o compromisso entre os provedores de determinada rede e seus consumidores podem ser mobilizadas enquanto instrumentos de diferenciação no caso de uma concorrência entre redes distintas.

¹⁵ Nestes momentos, uma padronização baseada em um sistema particular pode resultar em perda de variedade e num efeito *lock-in*, o que pode ser extremamente prejudicial quando o sistema selecionado se mostra inferior a outro sistema alternativo.

àquela existente entre dois sistemas rivais, enquanto a compatibilidade “vertical” estaria associada a gerações sucessivas de uma tecnologia similar. A análise de Katz e Shapiro (1994, p. 109-112) procura identificar os principais custos e benefícios associados à compatibilidade, bem como descrever as condições nas quais a mesma seria mais desejável do ponto de vista social. Basicamente, os benefícios da compatibilidade variam de acordo com a natureza das “externalidades de rede” predominantes em cada situação. Quando estas externalidades envolvem um intenso intercâmbio de informações, estes benefícios referem-se à possibilidade de um agente atingir um maior número de pontos – seja em termos do acesso a consumidores potenciais, seja em termos de busca de novas alternativas técnicas - evitando os custos nos quais ele incorreria se tivesse que duplicar investimentos para participar de redes distintas. Já no caso de “externalidades de rede” que envolvem a integração hardware-software de modo a gerar soluções técnicas sofisticadas e customizadas, estes benefícios estão associados à redução dos custos de produção, proporcionada pela exploração de economias de escala latentes, bem como por efeitos de aprendizado e outras formas de *spill-over* tecnológico associadas ao desenvolvimento e produção de componentes específicos, a partir de uma “base instalada” mais ampla e do acesso a um maior conjunto de tecnologias complementares.

A presença de uma compatibilidade entre sistemas favorece também o desenvolvimento de variantes dos diversos componentes, permitindo a exploração simultânea de economias de escopo e escala indutoras de um maior nível de eficiência. Os custos associados ao incremento da compatibilidade dependem dos mecanismos através dos quais a rede é estruturada, podendo-se estabelecer uma distinção entre duas formas básicas: a utilização de mecanismos de padronização, quando os sistemas são configurados de maneira a utilizar componentes inter-cambiáveis, e o uso de “adaptadores” que interligam componentes de diferentes sistemas de maneira a criar uma interface eficaz entre eles. A opção entre estas alternativas depende não apenas dos custos inerentes às soluções técnicas correspondentes, como também dos efeitos que possam ser eventualmente gerados em termos da perda de variedade ou da piora na performance dos referidos sistemas.

A importância das compatibilidades técnicas no interior de sistemas tecnológicos complexos pode ser também explicada em função de características particulares da dinâmica inovativa desses sistemas. Nestes sistemas, a inovação está geralmente associada a múltiplas interfaces entre componentes e subsistemas, contemplando também um envolvimento ativo dos usuários no processo de desenvolvimento tecnológico. Além disso, a dinâmica inovativa geralmente envolve a necessidade de compatibilizar os atributos técnicos dos diferentes componentes e subsistemas. Em função dessas características, duas tendências tendem a ser reforçadas, ambas com implicações importantes em termos de princípios de compatibilidade incorporados à “externalidades de rede”. Por um lado, particular importância costuma ser atribuído à montagem de uma infra-estrutura de hardware e software que atenda as necessidades específicas dos usuários, o que amplificaria a obtenção de ganhos de eficiência vinculados àquelas externalidades. Por outro lado, devido aos requisitos de compatibilidade técnica entre componentes e subsistemas, os padrões de inovação necessitam ser acordados *ex-ante* entre os agentes, de maneira a evitar problemas que poderiam afetar negativamente a performance do sistema com um todo.

As evidências empíricas também demonstram que a estrutura de mercado subjacente às indústrias baseadas em sistemas tecnológicos complexos afeta fortemente a geração e apropriação de benefícios decorrentes da compatibilidade técnica entre componentes e subsistemas. Considerando esse aspecto, duas situações-limite distintas podem ser mencionadas. A primeira delas se aproximaria de um equilíbrio competitivo, no qual as expectativas dos agentes podem antecipar, com base em sinalizações de preços¹⁶ e

¹⁶ Pode-se considerar, por exemplo, uma situação na qual produtores de hardware, ao venderem uma maior quantidade no mercado, sinalizam para os consumidores uma queda futura dos preços, tanto para os equipamentos como para os softwares associados. Nesta situação, o preço de softwares (g^*) está negativamente relacionado à base de usuários de hardware, n , de tal modo que os consumidores esperam apropriar um maior excedente quando n aumentar. Define-se, desse modo, uma demanda por hardware que será dada por $D(p, g^*(n))$, a qual é crescente em relação a n . Ver a este respeito Katz e Shapiro (1994, p.99, notas 7 e 8).

em outras informações disponíveis, eventuais efeitos *lock-in* associados à adoção de determinado sistema. Em contraste, é possível caracterizar uma situação oposta na qual os diversos componentes do sistema são produzidos por uma única firma¹⁷ - ou, alternativamente, por um conjunto de firmas que estabelecem acordos colusivos - que pode fixar preços diferenciados para cada componente ao longo do tempo (envolvendo práticas de *multiproduct pricing* e *intertemporal pricing*), de modo a usufruir os ganhos de rendas de monopólio. Entre estas situações extremas, observa-se que, via de regra, o incremento da compatibilidade entre sistemas dificulta a sustentação de posições monopolistas na indústria, fazendo com que a competição se desloque da provisão de uma solução completa e integrada para os problemas dos consumidores no sentido de características específicas em termos da relação custo-performance dos componentes considerados individualmente¹⁸.

Desse modo, observa-se a inexistência de uma demarcação rígida entre monopólio ou concorrência como estrutura de mercado mais eficiente para a plena obtenção das “externalidades de rede” presentes na operação de sistemas tecnológicos complexos; ao mesmo tempo, em termos das estratégias empresariais, a complexidade tecnológica de tais sistemas aponta no sentido da possibilidade de convivência entre práticas de competição e cooperação entre os agentes. Estas práticas operam não como forma de conluio ou prevenção à entrada de outros agentes, e sim como meio para obtenção de diversos tipos de sinergia que são fundamentais para a sustentabilidade da rede. Como contrapartida, observa-se também uma tendência à regulação de atividades nas quais destaca-se a presença de externalidades semelhantes às descritas. Esta regulação direciona-se, por um lado, para o monitoramento de posições dominantes na produção de componentes críticos e, por outro lado, para a organização da concorrência na provisão de bens e serviços finais compatíveis.

Outro aspecto relacionado à geração de ganhos de compatibilidade em sistemas tecnológicos complexos diz respeito à necessidade de se coordenar eficazmente o processo de expansão da rede associada. Nesse sentido, dois aspectos podem ser destacados. Por um lado, é importante compatibilizar incentivos econômicos indutores da expansão de “redes proprietárias” com a obtenção de uma solução próxima daquela que garantiria a maximização dos níveis de bem-estar para o conjunto da sociedade¹⁹. Por outro lado, o processo de coordenação deve contemplar estratégias de atração de novos agentes para a rede, envolvendo um problema de credibilidade que, para ser resolvido, requer algum tipo de compromisso dos produtores em termos do repasse de eventuais benefícios proporcionados pela estruturação da rede. Dentre as alternativas que podem ser mobilizadas visando reforçar este tipo de compromisso, é possível citar (Katz e Shapiro, 1994, p. 103): (i) a montagem de sistemas relativamente “abertos” em termos da estrutura de hardware-software, de tal modo que outros agentes pudessem prover componentes para a “rede proprietária” sem terem de pagar *royalties* ou outro tipo de taxa; (ii) a substituição das estratégias de vendas por estratégias de “aluguel” de pacotes integrados de hardware-software, com garantia de posterior *up-grade* quando versões mais atualizadas do sistema estiverem disponíveis; (iii) a montagem de alianças e contratos de longo prazo entre provedores dos sistemas e seus consumidores; (iv) a realização de *sunk-investments* por parte dos produtores, que deveriam ser anunciados a seus consumidores, explicitando um compromisso em termos da continuidade

¹⁷ Como exemplo, pode-se citar o caso da Microsoft em relação a determinados aplicativos que operam a partir do sistema Windows.

¹⁸ Em determinadas circunstâncias, as firmas podem se opor ao incremento da compatibilidade visando reforçar, posições monopolistas. As seguintes situações podem estimular esta postura (Katz e Shapiro, 1994, p.111): (i) a expectativa de que os diferenciais de custo em relação a firmas rivais tenderão a se expandir no futuro; (ii) a expectativa de que a “reputação” da firma venha ser reforçada, em comparação com os rivais; (iii) situações nas quais a “rede proprietária” associada a determinada firma gera maiores benefícios que a expansão de uma rede de produtos genéricos e compatíveis; (iv) se a compatibilidade gerar um estímulo à entrada de novas firmas no mercado.

¹⁹ Em termos gerais, esta maximização se daria quando os benefícios marginais associados a um novo usuário, acrescidos àqueles benefícios apropriados pelos usuários existentes, igualam-se ao custo marginal decorrente de sua interligação à rede.

do desenvolvimento de novas soluções; (v) a adoção de preços de penetração indutores da expansão da rede, baseados numa redução dos preços de componentes como forma de atração de novos consumidores; (vi) o reforço mercadológico da reputação como “ativo”, o que tende a solidificar os laços entre provedor e consumidores interligados à rede.

5. Considerações finais

A partir da análise desenvolvida ao longo do artigo, é possível apontar algumas implicações normativas importantes. Estas implicações estão associadas a medidas de política capazes de estimular o fortalecimento de compatibilidades técnicas que operam como fontes de externalidades tecnológicas em indústrias baseadas em sistemas complexos. De início, cabe ressaltar que a presença dessas externalidades é usualmente caracterizada pela microeconomia *standart* como uma situação de “falha de mercado” (*market failure*), na qual justifica-se algum tipo de intervenção pública. Em particular, supõe-se que, nesse caso, o retorno “social” das interconexões entre agentes – refletidos na ampliação dos ganhos de eficiência vinculados à consolidação de “externalidades de rede” - pode exceder os retornos estritamente privados considerados pelos mesmos no processo de tomada de decisões. Nestas circunstâncias, algumas orientações gerais deveriam nortear as políticas implementadas. Em primeiro lugar, observa-se que as políticas públicas desempenham um importante papel na consolidação daquelas externalidades, na medida em que as tornam mais evidentes para os agentes. Como exemplo, é possível citar ações de estímulo à normalização de tecnologias cuja adoção, supostamente, estaria sujeita às influências das “externalidades de rede”²⁰. Em segundo lugar, destaca-se o papel das políticas públicas na criação de estímulos ao aprofundamento daquelas externalidades ao longo do tempo. Como exemplo, é possível citar a ênfase atribuída ao reforço da compatibilidade entre tecnologias e padrões técnicos adotados em diferentes “redes”, através da normalização de interfaces entre os sistemas a elas associados.

Um outro aspecto importante refere-se às práticas de regulação da concorrência que se fazem necessárias no âmbito de indústrias as “externalidades de rede” desempenham um papel importante na obtenção de maiores níveis de eficiência e bem-estar. Neste caso, é importante não apenas criar estímulos ao reforço destas externalidades - admitindo-se que elas proporcionam um maior bem estar social - como também evitar que alguns dos benefícios gerados sejam apropriados privadamente, por meio de práticas que restringem a competição no âmbito das respectivas indústrias. De fato, empresas atuantes em indústrias vinculadas a sistemas tecnológicos complexos - como em alguns segmentos dos mercados de software, hardware e de telecomunicação - se encontram em situação privilegiada para oferecer novos produtos e serviços que estejam, de alguma maneira, conectados aos pré-existentes. As estratégias tecnológicas e mercadológicas utilizadas para viabilizar a ampliação do leque de produtos e serviços “compatíveis” oferecidos podem envolver práticas anticompetitivas - como mecanismos de subsídio-cruzado, preços predatórios ou recusa de acesso à infra-estrutura das redes - que deveriam ser monitoradas por agências regulatórias e órgãos de defesa da concorrência, evitando-se que a apropriação privada dos ganhos associados àquelas externalidades acabe resultando numa restrição do nível de competição e numa redução do nível de bem estar gerado para os consumidores.

A partir da análise realizada, é possível avançar também no sentido da identificação de outros possíveis ganhos de compatibilidade não suficientemente discutidos pela microeconomia *standart*, mas que deveriam ser considerados na implementação de políticas públicas. Em particular, há indícios de que a

²⁰ Isto se aplica a uma série de atividades com características semelhantes aos sistemas descritos, tais como sistemas de telecomunicação; sistemas de controle de tráfego aéreo; sistemas de satélite e defesa; sistemas de televisão de alta-definição (HDTV); etc.

discussão sobre externalidades de rede vinculadas a compatibilidades técnicas deve ser ampliada, de modo a incorporar os ganhos decorrentes de diversos mecanismos de aprendizado, bem como os impactos gerados em termos do reforço da capacidade inovativa dos agentes. Neste sentido, os ganhos de eficiência decorrentes de uma maior compatibilidade técnica no interior de sistemas tecnológicos complexos deveriam ser confrontados com os ganhos gerados em termos de flexibilidade produtiva, potencial inovativo e coordenação.

Cabe também ressaltar algumas limitações adicionais da teoria tradicional para a compreensão dos possíveis ganhos relacionados ao reforço da compatibilidade técnica no interior de sistemas tecnológicos complexos. Em particular, observa-se que a ênfase atribuída pela análise tradicional aos impactos da presença de externalidades de rede sobre as escolhas de agentes individuais – produtores e/ou consumidores – faz com que este enfoque tenda a negligenciar os impactos que esta presença acarreta sobre a dinâmica de concorrência nos mercados respectivos. Neste sentido, é importante correlacionar as características e a evolução dos relacionamentos que sancionam estas externalidades aos estímulos concretos do processo competitivo nas indústrias associadas. Finalmente, ao se considerar a estrutura de relacionamentos entre agentes como objeto específico de investigação, é possível observar que os processos alocativos subjacentes – aos quais estariam referenciados à existência de “externalidades de rede” - constituem apenas uma dimensão particular dos impactos gerados. Dentre as outras “dimensões” desses impactos igualmente importantes, é possível citar aquelas relacionadas a processos sócio-cognitivos geradores de novos conhecimentos e à coordenação de decisões estratégicas não diretamente relacionadas à órbita alocativa. A discussão desses impactos – com base numa concepção mais ampla da noção de “externalidades de rede” - constitui um campo extremamente fértil de investigação, configurando uma agenda de pesquisa com grande potencial.

Bibliografia

- ANTONELLI, C. “*The economics of localized technological change and industrial dynamics*”, Kluwer Academic Publishers, 1995
- ANTONELLI, C. “Economie des réseaux: variété et complémentarité”, in: RALLET, A. e TORRE, A. (org) “*Économie Industrielle et Économie Spatiale*”, Economica, 1995
- ANTONELLI, C. “*The economics of information networks*”, North-Holland, Amsterdam, 1992
- ARTHUR, W.B. “Competing technologies, increasing returns and lock-in by historical events”, *Economic Journal*, vol. 99, no.1, pp. 116-131, March, 1989
- ARTHUR, W.B. “Competing technologies: an overview”. in: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. e SOETE, L. (eds) “*Technical Change and Economic Theory*”, Pinter Publishers, London, 1988
- AXELSSON, B. “Network research - future issues”, in: AXELSSON, B and EASTON, G. (eds) “*Industrial Networks: a new view of reality*”, Routledge, London, 1993
- BABA, Y. “*Systemic Innovation: its nature and how to benefit from it*”, mimeo, SPRU- University of Sussex, april, 1988
- BABA, Y. e IMAI, K. “A network view of innovation and entrepreneurship: the case of the evolution of the VCR systems”, *International Social Science Journal*, 23-34, Unesco, 1993
- BARANES, E. “Externalités de reseaux, adoptions technologiques et relations verticales: une revue de la littérature”, *Revue D'Économie Politique*, 108 (5) septembre-octobre, pp. 599-623, 1998
- BIDAULT, F. “Apprentissage et reseaux”, *Economies et Sociétés - Série Dynamique technologique et organisation*, W.1, no 5, 79-101, maio 1993
- BERG, S. “The production of compatibility: technical standarts as collective goods”, *Kyklos*, vol. 42, 1989
- BRITTO, J. “Cooperação Tecnológica e Aprendizado Coletivo em Redes de Firmas: sistematização de conceitos e evidências empíricas”, *Anais do XIX Encontro Nacional de Economia da ANPEC*, Salvador, Dezembro, 2001
- BRITTO, J. “Elementos estruturais e mecanismos de operação das Redes de Firmas: uma discussão metodológica”, *Anais do V Encontro Nacional de Economia Política*, Fortaleza, Junho, 2000
- CAPELLO, R. e NIJKAMP, P. “Le rôle des externalités de reseaux dans les performances de firmes et regions: l'exemple des NTIC”, in: RALLET, A. e TORRE, A. (org) “*Économie Industrielle et Économie Spatiale*”, Economica, 1995
- CORLAT, B., GOUGEON, J., LUCCHINI, N. “*Pourquoi les firms cooperent-elles?*”, Working Paper 9401, Centre de Recherche en

- Economie Industrielle, Unoversité Paris XIII, 1994
- CURIEN, N. "Économie des Réseaux", Paris, Éditions La Découverte, 2000
- DAVID, P. "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review*, 75, 332-37, may, 1985
- DAVID, P. "Information Network Economics: Externalities, Innovation and Evolution", in: ANTONELLI, C.(ed) "The economics of information networks", North-Holland, Amsterdam, 1992
- DAVID, P. "Path-dependence and predicability in dinamic systems with local network externalities: a paradigm for historical economics", in: FORAY, D. e FREEMAN, C. (ed) "Technology and the Wealth of Nations", Pinter Publishers, 1993
- DAVID, P.A. "Some Standards for the Economics of Standardization in the Information Age", in: DASGUPTA, P. e STONEMAN, P. (eds) *Economic Policy and Technological Performance*, New York, Cambridge University press, 1987
- DAVID, P.A. e ROTHWELL, G.S. "Standardization, diversity and learning: strategies for the coevolution of technology and industrial capacity", *International Journal of Industrial Organization*, 14, 181-201, 1996
- DAVID, P. e BUNN, J. "The Economics of Gateway Technologies and Network Evolution," *Information Economics and Policy*, vol. 3, pp. 165-202, 1988
- DAVIES, A. "Innovation in large technical systems: the case of telecommunications", *Industrial and Corporate Change*, volume 5, number 4, pp 1143-1180, 1996
- DODGSON, M. "Technological collaboration in industry: strategy, policy and internationalization in innovation", Routledge, London and New York, 1993
- DOSI, G e TEECE, D. "Organizational Competencies and the Boundaries of the Firm", CCC Working Paper no 93-11, University of California at Berkley, february, 1993
- DOZ, Y. "Managing core competency for corporate renewal: towards a managerial theory of core competencies", in: DOSI, G. e MALERBA, F. (eds) *Organisation and Strategy in the Evolution of Enterprise*, Elsevier Publishers, 1996
- ECONOMIDES, N. "Desirability of Compatibility in the Absence of Network Externalities", *American Economic Review*, December, vol.79:5, pp.1165-1181, 1989
- ECONOMIDES, N. "The economics of networks", *International Journal of Industrial Organization*, 14, no 2. march, 1996
- ECONOMIDES, N. "Network Externalities, Complementarities, and Invitations to Enter," *European Journal of Political Economy*, 1995
- ECONOMIDES, N. e STEVEN, C. "Competition and Integration among Complements, and Network Market Structure," *Journal of Industrial Economics*, vol. 40, no. 1, pp. 105-123, 1992
- FARRELL, J. e SALONER, G. "Converters, Compatibility and the Control of Interfaces", *Journal of Industrial Economic*, . March, vol. XL, no 1, pp.9-35, 1992
- FILIPPI, M, PIERRE, E. e TORRE, A. "Quelles approches économiques pour la notion de reseau? contenus théoriques et dimensions opérationnelles", *Revue d'Économie Industrielle*, no 77, pp. 87-98; 3e trimestre; 1996
- GRANOVETTER, M. "Economic action and social structure: the problem of embeddedness", *American Journal of Sociology*, 91, 3, 1985
- GRILICHES, Z. "Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth", *Bell Journal of Economics*, no. 74, 84-99, 1979
- HENDERSON, R. e CLARK, K. "Architectural Innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms", *Administrative Science Quartely*, 35, 9-30, 1990
- HOBDA, M. "Complex System vs. Mass Production: a New Innovation Agenda", mimeo, SPRU-Sussex, June, 1995
- HOBDA, M. "Product complexity, innovation and industrial organisation", mimeo, SPRU-Sussex, February, 1997
- IMAI, K. "The japanese pattern of innovation and its evolution", in: ROSENBERG, M., LANDAU, R., e MOWERY, D. (ed) "Technology and the Wealth of Nations", Stanford University Press, Satnford, California, 1992
- IMAI, K. e BABA, Y. "Systemic Innovation and Cross-Border Networks", paper prepared for the *International Seminar on the Contributions of Science and Technology to Economic Growth at OECD*, Paris, june, 1989
- HUGUES, T. "Networks of power", MD, Johns Hopkins University Press, 1983Katz e Shapiro, 1985
- KARLSSON, C. e WESTIN, L. "Patterns of a Network Economy - an Introduction", in: JOHANSSON, B., KARLSSON, C. , WESTIN, L. (eds) "Patterns of a Network Economy", Springer-Verlag, 1994
- KATZ, M.L. e SHAPIRO C. "Systems Competition and Network Effects", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, no 2, 93-115, spring, 1994
- KATZ, M.L. e SHAPIRO C. "Technology adoption in the presence of network externalities", *Journal of Political Economy*, 94, 822-41, August, 1986
- KATZ, M.L. e SHAPIRO C. "Networks externalities, competition and compatibility", *American Economic Review*, 75, 424-440, 1985
- KIRMAN, A. "The economy as an evolving network", *Journal of Evolutionary Economics*, no 7; pp.339-353; 1997
- KLEMPERER, P. "The competitiveness of markets with switching costs", *Rand Journal of Economics*, vo.18, no1, pp.138-150, 1987

- KLINE, S.J. "A Numerical Index for the Complexity of Systems: the Concept and Some Implications", Proceeding of 1990 Conference, Association for Computing Machinery on Managing Complexity and Modeling Reality, New York, ACM Press, 1991
- KNOKE, D. e KUKLINSKI, J.H. "Network analysis: basic concepts", in *"Markets, Hierarchies and Networks"*, ed. by Thompson, G.; Frances, J.; Levacic, R.; Mitchell, J., Sage Publications, London, 1991
- LANGLOIS, R. e ROBERTSON, P. *"Firms, Markets and Economic Change - a dynamic theory of business institutions"*, Routledge, London and New York, 1995
- LANGLOIS, R. e ROBERTSON, P. 'Networks and innovation in a modular system: lessons from the microcomputer and stereo component industries', *Research Policy*, vol. 21, 297-313, 1992
- LIEBOWITZ, S.J. e MARGLOIS, S. "Network externality: an uncommon tragedy", *Journal of Economic Perspectives*, vol. 8, no 2, 133-150, spring, 1994
- LUNDGREEN, A. *"Technological Innovation and Network Evolution"*, Routledge, 1994
- LUNDVALL, B. "Innovation as an interactive process: from user-production interaction to the national system of innovation" in DOSI et alli, *"Technical Change and Economic Theory"*, Pinter Publishers, London, 1988
- MAISSEU, A. "Managing technological flows into corporate strategy", *International Journal of Technology Management*, Vol 10; no 1, 1995
- MEADE, J. "External Economies and Diseconomies in a Competitive situation", *Economic Journal*, 62, 143-151, 1954
- METCALFE, J.S. "Technology systems and technology policy in an evolutionary framework", *Cambridge Journal of Economics*; 19, pp.25-46; 1995
- METCALFE, J.S. "Variety, stucture and change: an evolutionary perspective on the competitive process", *Revue d'Economie Industrielle*, n. 59, 1er trimestre, 1992
- RICHARDSON, G.B. "The organization of industry", *Economic Journal*, v.82, p.883-896, sept. 1972
- ROSENBERG, N. *"Inside the black box"*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982
- RYCROFT, R e KASH, D. "Complex technology and community: implications for policy and social science", *Research Policy*, 23, 613-626, 1994
- SAHAL, D. "Technological guideposts and innovation avenues", *Resarch Policy*, vol.14, pp.61-82, 1985255]
- SANCHEZ, R. "Strategic flexibility in product competition", *Strategic Management Journal*, vol 16,135-159, 1995
- SANCHEZ, R. e MAHONEY, J. "Modularity, Flexibility and Knowledge Management in Production and Organisation Design", *Strategic Management Journal*, vol 17, Winter Special Issue, 63-76, 1996
- SCITOVSKI, T. "Two concepts of external economies", *Journal of Political Economy*, 62, 142-151,1954
- SHAPIRO, C. e VARIAN, H. *"A Economia da Informação: como os princípios econômicos se aplicam a era da Internet"*; Rio de Janeiro, Campus, 1999
- SIMON, H. "The Architecture of Complexity", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106 (6) December, 467-82, 1962
- SINGH, K. "The impact of technological complexity and interfirm cooperation on business survival", *Academy of Management Journal*, vol.40, no 2, 339-367, 1997
- TEECE, D.J. "Competition, cooperation and innovation: organizational arrangements for regimes of rapid technological progress", *Journal of Behavior and Organization*, no 18, 1-25, 1992
- THUM, M. "Network externalities, technological progress and the competition of market contracts", *International Journal of industrial Organization*, 12, 269-289, 1994;
- VADLAMANI, B. "An integrative framework for R&D management in system industries", *International Journal of Technology Management*, Special Issue on R&D Management, p.818-832, 1997