

Cooperação Tecnológica e Aprendizado Coletivo em Redes de Firmas: sistematização de conceitos e evidências empíricas

Jorge Britto (Departamento de Economia – UFF)

Endereço eletrônico: jbrit@terra.com.br

Resumo

Este artigo discute algumas características dos processos de aprendizado comuns às redes de firmas. Inicialmente, procura-se construir um referencial analítico capaz de orientar a investigação do processo de aprendizado no âmbito dessas redes. Em seguida, são introduzidos elementos relacionados à complexidade do ambiente sócio-cognitivo no interior do qual esses arranjos se encontram inseridos. A partir desses elementos, é construída uma tipologia de “modelos estilizados” de redes de firmas capaz de captar a variedade de situações relacionadas à complexidade daquele ambiente. A seguir, são identificadas, para os diferentes tipos de rede, as principais características dos processos de aprendizado. Finalmente, uma seção conclusiva identifica algumas linhas de investigação possíveis de serem exploradas a partir de desdobramentos da análise realizada.

Palavras-chave: Aprendizado Coletivo; Redes de Firmas; Cooperação Tecnológica

Abstract

The article discusses the diversity of the learning mechanisms in inter-firm networks. The analysis begins with a discussion about the general characteristics of the learning process in these networks. An analytical framework to discuss the different dimensions of the learning mechanisms in these networks is also developed. Then, the analysis introduces some elements associated with the complexity of the cognitive environment in which these networks are inserted. With basis on these elements, a typology of inter-firm networks is developed. The main characteristics of those “stylised models” are presented, emphasising the specificity of the learning mechanisms in each situation. Finally, a conclusive section identifies some investigation lines to be explored in the future.

Key words: Collective Learning; Inter-firm Networks; Technological Co-operation

Área de Classificação da ANPEC: Área 4

Código da Classificação do JEL: L (L00, L14, L22)

Introdução

A intensificação da cooperação interindustrial tem estimulado a investigação dos fatores que afetam a amplitude e a complexidade das interdependências entre firmas, particularmente através da utilização de um recorte analítico baseado no conceito de “redes de firmas” (Grabher, 1993; Axelsson e Easton, 1992; Karlsson e Westin, 1994; Coombs, Richards, Saviotti e Walsh, 1996). A literatura sobre o fenômeno aponta, como uma das principais características destas redes, a tendência à criação e circulação de conhecimentos em seu interior, originando um processo de “aprendizado coletivo” que reforça as competências tecnológicas das firmas e amplia o potencial inovativo gerado pela estruturação do arranjo.

Este artigo discute algumas características dos processos de aprendizado comuns às redes de firmas. Por um lado, procura-se sistematizar conceitos que possibilitem a construção de um referencial analítico capaz de orientar a realização de estudos empíricos sobre o fenômeno. Por outro lado, avança-se no sentido de uma discussão desses processos em contextos industriais específicos, tomando-se como referência a complexidade do ambiente sócio-cognitivo no qual aquelas redes se encontram inseridas. O artigo estrutura-se em quatro seções. Inicialmente (seção 1), procura-se construir um referencial analítico capaz de orientar a investigação dos processos de aprendizado no âmbito das redes de firmas. Em seguida (seção 2), são introduzidos elementos relacionados à complexidade do ambiente sócio-cognitivo no interior dos quais esses arranjos encontram-se inseridos. A partir desses elementos, é construída uma tipologia de “modelos estilizados” de redes de firmas capaz de captar a variedade de situações relacionadas à complexidade daquele ambiente. A seguir (seção 3), são identificadas, para diferentes tipos de rede, as principais características dos processos de aprendizado. Finalmente, uma seção conclusiva (seção 4) identifica algumas linhas de investigação possíveis de serem exploradas a partir de desdobramentos da análise realizada.

1. Referencial Analítico: as fontes de aprendizado no interior das Redes de Firmas

Na literatura econômica, o conceito de aprendizado – elaborado a partir do trabalho seminal de Arrow (1962) – está associado a um processo cumulativo através do qual as firmas ampliam seus estoques de conhecimento, aperfeiçoam seus procedimentos de busca e refinam suas habilidades em desenvolver ou manufaturar produtos. Malerba (1992) identifica quatro características básicas do processo de aprendizado tecnológico que devem ser consideradas na análise do fenômeno. Em primeiro lugar, o aprendizado é visto como “processo orientado” que envolve um custo particular, sendo realizado no interior da firma a partir da mobilização de diversas instâncias organizacionais e da definição de uma estratégia particular que define as principais direções dos esforços de capacitação dos agentes. Em segundo lugar, o aprendizado tecnológico articula-se a diferentes fontes de conhecimento, que tanto podem ser internas como externas à firma. Internamente, estas fontes relacionam-se a atividades específicas, como produção, P&D e marketing; externamente, elas envolvem articulações com fornecedores, consumidores e com a infraestrutura científico-tecnológica. Em terceiro lugar, o aprendizado é visto como processo inter-temporal e cumulativo, que amplia continuamente o estoque de conhecimentos da

firma, diferenciando-a de outros agentes. Por fim, este aprendizado viabiliza não apenas a incorporação de inovações incrementais, relacionadas à maior eficiência dos processos produtivos, mas também a exploração de novas oportunidades produtivas e tecnológicas, possibilitando a expansão para novos mercados, a partir da exploração de níveis de sinergia em relação aos produtos gerados e às técnicas previamente empregadas.

Basicamente, as redes de firmas podem ser concebidas como instâncias de aglutinação e criação de competências ao longo do tempo, por meio de um processo coletivo de aprendizado institucionalmente condicionado. Esta seção procura construir um referencial analítico capaz de orientar a investigação dos processos de aprendizado no âmbito das redes de firmas, discutindo três aspectos principais são considerados: (i) a geração de efeitos *spill-over* decorrentes da comunicação sistemática entre agentes no interior desses arranjos; (ii) a consolidação processos sócio-cognitivos específicos às redes de firmas que favorecem o aprofundamento do aprendizado; (iii) a diferenciação entre mecanismos formais e informais de aprendizado relacionados à consolidação desses arranjos.

Inicialmente, é importante considerar que uma das principais características das redes de firmas refere-se precisamente à capacidade das mesmas operarem como instância de mediação entre a firma e o ambiente externo, que amplia a capacidade de absorção de conhecimentos potencialmente úteis para o reforço da eficiência e da competitividade de seus membros. Nesse sentido, a distinção entre fontes internas e externas de conhecimentos apropriados no processo de aprendizado, ressaltada na análise de Cohen e Levinthal (1989), pode servir de base para a descrição de fenômenos que ocorrem no interior das redes de firmas. Na análise de Cohen e Levinthal, o processo de aprendizado tecnológico é associado à ampliação do estoque de conhecimentos retidos pelas firmas, estando positivamente correlacionado à expansão dos lucros empresariais¹. A ampliação do estoque de conhecimentos é definida 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:

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

Z = ampliação do estoque de conhecimentos da firma i;

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 “vazam” 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

¹ Cabe ressaltar que Cohen e Levinthal, (1988, p.571) assumem uma hipótese de “rendimentos decrescentes” associados à ampliação do estoque de conhecimentos da firma.

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 absorção². Assim, a apropriação do conhecimento externo é modulada pelos valores de Y e β , que expressam, respectivamente, uma determinada capacidade de absorção (que é função dos próprios gastos em P&D realizados internamente) e a “adequação” do conhecimento externo às necessidades da firma.

Cohen e Levinthal ressaltam que 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. Esta possibilidade expressa-se no valor da variável T , cuja definição é suficientemente ampla para abarcar conhecimentos provenientes de laboratórios públicos, universidades e de fornecedores de insumos e equipamentos. 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 redes de firmas em termos do aprofundamento do aprendizado e do aumento da eficácia do esforço tecnológico realizado pelos agentes³. Basicamente, a consolidação dessas redes redefine a dicotomia entre fontes “internas” e “externas” de conhecimentos, na medida em que dá origem a uma instância intermediária de interação entre agentes que possibilita uma “formatação” desses conhecimentos em função das exigências do processo competitivo, através da integração de competências complementares. Considerando o modelo proposto, cinco impactos podem ser mencionados. Em primeiro lugar, o estabelecimento de laços sistemáticos entre firmas aumenta a capacidade de absorção de cada uma delas 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, o efeito “vazamento” (*spill-over*) associado às fontes externas de conhecimento tende a ser reforçado, na medida em que existam canais sistemáticos de interligação entre os diversos agentes integrados à rede. Em terceiro lugar, o intercâmbio sistemático de informações entre agentes integrados à rede favorece uma maior coordenação das estratégias tecnológicas implementadas. Em consequência, os conhecimentos gerados no interior da rede tendem a estar melhor calibrados em relação às necessidades das firmas

² 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.

³ Supõe-se que estas redes estão baseadas no estabelecimento de relacionamentos sistemáticos (de caráter vertical e horizontal) entre as firmas inseridas em determinada indústria, o que conduz ao estabelecimento de uma certa “divisão de trabalho” entre as mesmas em termos de atividades produtivas e tecnológicas, bem como implica uma intensificação do intercâmbio de informações entre os agentes.

inseridas no arranjo, o que favorece o processo de absorção. Em quarto lugar, o acesso a conhecimentos externos à indústria, a partir dos quais são vislumbradas novas oportunidades tecnológicas, é facilitado, na medida em que, através da mediação da rede, é possível ter acesso a um maior número de “fontes” de novas oportunidades⁴. Finalmente, em quinto lugar, a montagem de configurações em rede amplia o impacto positivo de novos conhecimentos em termos da performance tecnológica dos processos produtivos. Supõe-se, nesse caso, que o ajustamento e otimização da logística produtiva destes arranjos (via difusão de técnicas *just-in-time* e princípios gerenciais mais modernos, por exemplo) permitem maximizar o impacto positivo da absorção de novos conhecimentos, ao permitir que os mesmos se difundam mais rapidamente a partir das conexões internas à rede.

É possível sofisticar a análise de Cohen e Levinthal, visando captar os impactos da intensificação do processo de comunicação entre agentes integrados às redes de firmas. Supõe-se, quanto a esse aspecto, que os efeitos descritos anteriormente podem ser reforçados em função da existência de uma comunicação mais sistemática entre os agentes integrados ao arranjo. Neste sentido, a análise de Antonelli (1996) é bastante ilustrativa. Esta análise supõe que a produção de conhecimento tecnológico por uma firma particular pode ser concebida como o resultado da interação entre atividades internas de P&D e a absorção de conhecimentos provenientes de outras firmas que fazem parte do mesmo sistema inovativo, a qual, por sua vez, é função da extensão e da intensidade da comunicação estabelecida entre elas. Desse modo:

$T_i = f(P\&D\&L_i, g(C, P\&D\&L_{n-1}))$, onde:

T_i = conhecimento tecnológico produzido pela firma i ;

$P\&D\&L_i$ = montante de recursos dedicados a atividades de P&D e aprendizado;

C = extensão da comunicação existente entre atividades inovativas realizada pelas diversas firmas que fazem parte do mesmo sistema;

g = efeito em termos da produtividade das atividades inovativas “internas” decorrente de fontes externas de aprendizado.

A análise de Antonelli ressalta os impactos potenciais de uma comunicação sistemática entre agentes inseridos no mesmo sistema inovativo. Esta comunicação é discutida a partir de um “processo de percolação” caracterizado por dois eventos distintos: a emissão e a recepção de informações. Define-se, desse modo, uma “probabilidade de percolação”, obtida a partir da combinação de duas probabilidades: uma probabilidade de “conectividade” entre os agentes e uma probabilidade de “receptividade” entre os mesmos no processo de transmissão de estímulos. A partir dessa análise, é possível identificar algumas propriedades relevantes das redes de firmas em termos dos mecanismos de aprendizado. Supõe-se que é possível caracterizar um grau de “abertura” para um circuito qualquer definido no interior da rede, analisando-se se suas ligações internas atingem um nível mínimo de densidade e se as firmas nele inseridas são influenciadas por externalidades tecnológicas presentes no interior do arranjo. A análise de Antonelli sugere

⁴ Neste caso, os ganhos seriam provenientes de uma certa coordenação entre os diversos “pontos” ou “nós” integrados à rede em termos do acesso àquelas fontes, a qual seria tanto maior quanto maior fosse o grau de “solidariedade” entre as firmas integradas ao arranjo.

que, em termos da dinamização dos processos de aprendizado, é mais relevante a receptividade entre os agentes integrados ao arranjo do que a conectividade existente entre os mesmos. A consolidação de códigos de conduta e de regras de interação socialmente (ou coletivamente) também favorece uma maior “receptividade” dos seus membros para com estímulos gerados internamente. Desse modo, amplia-se a possibilidade das ligações internas à rede gerarem mudanças adaptativas a partir do intercâmbio de estímulos entre os agentes integrados ao arranjo. Para que isso ocorra, é necessário compatibilizar as mudanças geradas em cada ponto da rede, de modo a garantir-se a sustentação e o fortalecimento da sua estrutura como um todo⁵. O “aprendizado coletivo” que ocorre no interior das redes de firmas funciona, assim, como elemento que facilita essa compatibilização ao longo do tempo, na medida em que reforça as conexões entre agentes e permite o reconhecimento mútuo de interesses e competências, ampliando a capacidade de disseminação de efeitos “*spill-over*” no interior desses arranjos.

O intercâmbio sistemático de informações e conhecimentos entre os membros da rede pode ser caracterizado como um tipo de aprendizado “informal”, em contraste com mecanismos “formais” de aprendizado baseados na realização de esforços conjuntos de P&D. Este aprendizado “informal” diz respeito à circulação e disseminação de conhecimentos no interior destes arranjos, a partir da qual é possível reduzir os *lags* de inovação, com as tecnologias desenvolvidas por cada um dos agentes integrantes do arranjo tendendo progressivamente a serem transferidas para os demais membros da rede. A especificidade desse processo decorre do fato de que, neste caso, não existe uma intenção deliberada dos agentes em interagirem entre si no intuito de criar novas tecnologias. A circulação de conhecimentos é, em certa medida, uma consequência do caráter bidirecional da transferência de informações entre os componentes da rede.

Entretanto, o aprendizado informal não se reduz a uma dimensão estritamente bilateral. Por um lado, observa-se, ao nível da rede, uma socialização dos processos de *learning-by-doing* e *learning-by-using* experimentados pelos agentes, o que extrapola a mera “adição” destes efeitos no âmbito de relacionamentos bilaterais. Por outro lado, em função da estrutura específica de cada rede, é possível caracterizar distintos níveis hierárquicos de interação, os quais, em seu conjunto, dão origem a um processo mais amplo de aprendizado coletivo, cujos impactos dinâmicos sobre a capacitação dos agentes ultrapassam aqueles obtidos através de interações bilaterais. Neste sentido, é possível caracterizar a existência de um certo *trade-off* entre o número de agentes que participam do arranjo e a intensidade da interação que se estabelece entre eles. É provável que exista um tamanho “ótimo” desta estrutura, associado a uma dispersão máxima do número de agentes que dela participam, a partir do qual o processo de interação pode ser obstaculizado, em função de problemas gerenciais e da impossibilidade de se coordenar minimamente o intercâmbio de informações entre os participantes do arranjo.

É importante considerar também possíveis impactos dos mecanismos “informais” de aprendizado em termos do fortalecimento da competitividade dos membros da rede. Neste sentido, o intercâmbio de informações no interior do arranjo gera alguns ganhos

⁵ A compatibilização de mudanças pode ser facilitada ou dificultada em função de características morfológicas da estrutura. Em redes mais “complexas” - associadas a um maior número de pontos e “ligações” - esta coordenação tende a ser mais complicada. Por outro lado, redes nas quais observa-se uma maior “densidade” de ligações tendem naturalmente a gerar forças endógenas que facilitam uma maior coordenação. Esta coordenação é facilitada também em função do maior grau de centralização-hierarquização da estrutura.

importantes. Em primeiro lugar, ele possibilita a equalização dos patamares de eficiência técnica dos agentes integrados à rede, em virtude da compatibilização das diversas tecnologias utilizadas e de procedimentos gerais no tocante à formação de recursos humanos. Esse intercâmbio possibilita também a disseminação de procedimentos operacionais relativos à organização dos processos produtivos, associados à adoção de modernas técnicas organizacionais. Outro aspecto relevante refere-se à contribuição desse intercâmbio de informações para a definição de padrões de controle de qualidade e de normalização técnica que orientem o comportamento dos agentes integrados à rede, reduzindo a incerteza tecnológica gerada pela indefinição dos mesmos⁶.

Os processos informais de aprendizado que ocorrem no interior das redes de firmas envolvem a consolidação de um *pool* de informações e conhecimentos que são repartidos e socializados entre seus membros, requerendo a montagem de códigos de linguagem e canais de comunicação, com o intuito de viabilizar esta transferência da maneira mais eficaz possível. Na medida em que a densidade dos fluxos informacionais constitui uma importante característica destes arranjos, é importante identificar a infra-estrutura informacional da rede, bem como a natureza das informações que circulam em seu interior. Nesta discussão, é importante considerar não apenas o tipo de informação que circula no interior da rede (informações mercadológicas, informações tecnológicas, informações relacionadas a serviços técnicos, etc.), como também a sua complexidade. Esta complexidade está associada a diferentes aspectos. Por um lado, é possível diferenciar o tipo de conhecimento embutido nas informações transmitidas⁷. Outro aspecto relevante refere-se ao caráter “tácito” ou “codificado” do conhecimento subjacente (Senker, 1995). Adicionalmente, é importante avaliar se o acesso às informações que circulam no interior da rede é livre para seus diversos membros - conferindo-lhe um caráter de bem público no interior do arranjo - ou se, alternativamente, existem mecanismos que impõem limites à circulação destas informações e à difusão dos conhecimentos subjacentes. Os códigos utilizados para transmitir informações entre os membros da rede também influenciam o ritmo desse processo, assim como as características técnicas dos sistemas de informação utilizados para viabilizar esta transmissão.

As redes de firmas desempenham também um importante papel como estrutura facilitadora da “codificação” de conhecimentos associados a diferentes quadros cognitivos e a diferentes campos técnico-científicos. De fato, os fluxos de informações transmitidas no interior dessas redes muitas vezes estão associados a relacionamentos interpessoais entre

⁶ Estes padrões funcionam como uma espécie de “bem público” ao nível da rede, gerando externalidades positivas na medida em que facilitam a convergência dos esforços tecnológicos realizados pelos diversos agentes integrados ao arranjo. A definição desses padrões técnicos funciona também como mecanismo de proteção contra o acirramento da competição no interior da rede, na medida em que implica a exclusão “a priori” de firmas não adaptadas àqueles padrões.

⁷ Neste sentido, é possível utilizar a classificação proposta por Lundvall e Johnson (1994), baseada numa distinção entre quatro tipos de conhecimentos: (i) “*know-what*”, associado a conhecimentos sobre “fatos” relevantes, o que requer uma boa capacidade de transmissão e estocagem de informações; (ii) “*know-why*”, associado a princípios técnico-científicos e às leis básicas necessárias à compreensão dos fenômenos naturais e sociais; (iii) “*know-how*”, associado às habilidades específicas e qualificações requeridas para realizar uma tarefa qualquer, não apenas na órbita diretamente produtiva, mas também em outras atividades da esfera econômica; (iv) “*know-who*”, envolvendo um conjunto de habilidades e relacionamentos sociais a partir dos quais é possível obter informações sobre outros agentes que sabem qual a tarefa a ser feita e qual é a maneira mais eficaz de realizá-la.

indivíduos ou grupos, que possibilitam uma transmissão mais efetiva de conhecimentos “tácitos”, os quais são “codificados” a partir do ambiente intra-rede. Quanto mais “tácito” for o conhecimento requerido para viabilizar o processo inovativo, maior será a necessidade de estruturarem-se canais diretos de contato e comunicação, que permitam um intercâmbio sistemático de informações entre os membros da rede⁸. Foray e Lundvall (1996) enfatizam a importância das estruturas em rede enquanto arranjos que permitem a “codificação” do conhecimento, através de um processo de redução, conversão e socialização de conceitos que facilita a transmissão, verificação, estocagem e reprodução deste conhecimento..

Para compreender-se o processo de codificação do conhecimento que ocorre no interior das redes de firmas, é útil fazer menção à dimensão sócio-cognitiva dos processos de aprendizado. De fato, diversas análises têm ressaltado a capacidade das organizações desenvolverem modelos cognitivos que podem favorecer ou obstaculizar o aprendizado. A construção destes modelos é referenciada pela literatura ao conceito de “aprendizado organizacional” (*organizational learning*), o qual é desenvolvido como desdobramento da literatura sobre a teoria das organizações⁹. Assume-se, nesta perspectiva, que as firmas são organizações que adotam ações explicitamente orientadas à absorção e difusão de novos conhecimentos¹⁰. É possível estabelecer umnexo entre a dimensão sócio-cognitiva do processo de aprendizado organizacional e a tendência do mesmo extravasar para os relacionamentos interindustriais da empresa, definindo um tipo particular de aprendizado, o aprendizado por interação (*interactive learning*). De fato, como as capacitações tecnológicas e organizacionais dificilmente podem ser codificadas de maneira clara e objetiva, a transmissão de conhecimentos nelas baseados costuma ser problemática. Nestas circunstâncias, a viabilização do processo inovativo muitas vezes requer uma interação direta e sistemática entre agentes transmissores e receptores de informações, através da qual suas capacitações podem ser calibradas, adaptadas e incrementadas mutuamente. Lundvall (1988) sintetiza este tipo de visão ao ressaltar que, em ambientes de rápido progresso técnico, o desenvolvimento, introdução e difusão de inovações costumam assumir a forma de um processo "interativo" de aprendizado, baseando-se num intercâmbio contínuo de informações entre produtores e usuários que altera permanentemente as capacitações dos agentes. Este tipo de aprendizado está associado a três aspectos básicos: (i) o conhecimento

⁸ Analisando este aspecto, Senker e Faulkner (1995, p.100) ressaltam que “*Networking is an important means by which companies acquire and exchange tacit knowledge, both through personal interaction with colleagues inside the company and, externally, with researchers in other companies and in the public sector*”.

⁹ Em uma resenha sobre o tema, Dogdson (1993) resalta que “*it is a major concern of organization theory and psychology to examine the processes of learning. Learning, in the sense used here, relates to firms, and encompasses both processes and outcomes. It can be described as the ways firms build, supplement and organize knowledge and routines around their activities and within their cultures, and adapt and develop organizational efficiency by improving the use of the broad skills of their workforces*” (1993, p.377)

¹⁰ O processo de aprendizado organizacional pode ser descrito a partir de algumas analogias com o processo de aprendizado individual. Crossan, Lane e White (1999) sugerem que o aprendizado organizacional pode ser correlacionado a quatro processos, os quais, por sua vez, estariam associados a três níveis distintos. Os dois primeiros processos – relacionados, respectivamente, à “intuição” (*intuiting*) que induz o aprendizado e à “interpretação” (*interpreting*) de fenômenos a partir da qual o mesmo é iniciado – estariam associados basicamente ao plano individual. O terceiro processo – relacionado à “integração” (*integrating*) de conhecimentos - estaria associado à consolidação de grupos de agentes que interagem entre si. Finalmente, o quarto processo – de “institucionalização” (*institutionalizing*) do aprendizado – estaria eminentemente relacionado ao plano organizacional, envolvendo a consolidação de rotinas e procedimentos de ação indutores do processo no interior das empresas.

das necessidades do cliente, fornecedor ou parceiro, devido ao contato sistemático e ao intercâmbio de informações; (ii) o conhecimento sobre como as competências do produtor (ou fornecedor) podem se transformar em tecnologias específicas que atendam as necessidades de usuários ou clientes; (iii) mecanismos de *feedback* associados à experiência de usuários (ou clientes) e a pontos de estrangulamento que podem ser identificados a partir do uso de novos produtos ou componentes.

Johnson e Lundvall (1992) formulam algumas hipóteses básicas sobre o contexto no interior do qual ocorre o processo de aprendizado por interação. Em primeiro lugar, o aprendizado por interação envolve um "processo social", a partir do qual se desenvolvem conceitos básicos de linguagem entre os agentes. Em segundo lugar, quanto mais complexo for o aprendizado, maior será a interação requerida para viabilizá-lo, na medida em que será mais complicada a compatibilização de padrões cognitivos e a transmissão de conhecimentos de caráter tácito. Em terceiro lugar, o aprofundamento da interação requer o contínuo aperfeiçoamento dos códigos e canais de comunicação entre os agentes, os quais operam como infra-estrutura facilitadora do intercâmbio de informações. Finalmente, em quarto lugar, a continuidade da interação introduz a possibilidade de novas combinações para diferentes tipos de conhecimento. Os ganhos proporcionados não se restringem apenas ao aumento da eficiência produtiva e à customização de produtos de acordo com as necessidades de usuários, contemplando também ganhos de variedade associados à ampliação do leque de produtos e, até mesmo, à consolidação de novos mercados.

Algumas características importantes do processo de aprendizado por interação podem ser identificadas (Lundvall, 1988, p.354-355). Em primeiro lugar, este processo pressupõe a existência de um fluxo sistemático de informações conectando distintos agentes, para o que dois requisitos devem ser atendidos: a existência de canais de comunicação através dos quais mensagens possam ser enviadas e a existência de um determinado código de comunicação que torne esta transmissão mais ágil e efetiva. Em segundo lugar, o aprofundamento do aprendizado por interação pressupõe uma certa "seletividade" nos relacionamentos interindustriais. Esta seletividade decorre da necessidade de estabelecer-se relações não-econômicas entre os agentes, através das quais princípios de confiança mútua podem paulatinamente se consolidar. Em terceiro lugar, o aprendizado por interação requer determinado tempo para se desenvolver, não só devido aos percalços associados à consolidação de uma confiança mútua entre os agentes, mas também em razão dos investimentos específicos requeridos. Neste sentido, uma vez que determinado "nível" de interação seja atingido, o processo tende a se auto-reforçar, criando resistências a mudanças nos relacionamentos. Em quarto lugar, o aprofundamento da interação requer a presença de um sistema de incentivos indutor do processo. Ao longo do tempo, a resistência ao rompimento das articulações que vai sendo criada faz com que aqueles laços só sejam rompidos se os incentivos econômicos oferecidos por novos relacionamentos forem extremamente compensadores.

A discussão dos processos de aprendizado específicos às redes de firmas requer não apenas a caracterização do nível de "complexidade" dos fluxos informacionais desses arranjos, e dos efeitos *spill-over* gerados, como também uma identificação dos esforços realizados pelos agentes especificamente no intuito de acelerar o processo. Este aspecto remete a discussão no sentido da distinção entre mecanismos formais e informais de aprendizado que caracterizam as redes de firmas. (Malerba, 1992). Assim, enquanto os aspectos anteriormente descritos podem ser relacionados a mecanismos "informais" de

aprendizado, decorrentes da circulação de conhecimentos e competências no interior da rede, é possível identificar também mecanismos “formais” de aprendizado, baseados na criação de conhecimentos tecnológicos intencionalmente desenvolvidos em cooperação no âmbito da rede.

A criação de conhecimentos tecnológicos intencionalmente desenvolvidos em cooperação baseia-se na montagem de uma certa divisão de trabalho quanto às atividades de P&D realizadas no interior das redes de firmas (Bidault, 1993). Antonelli e Foray (1992) sugerem que a cooperação intra-rede reduz os riscos inerentes à realização de um esforço tecnológico particularizado, permitindo aos agentes focalizar este esforço na direção de áreas que lhes parecem mais promissoras. Em particular, observa-se que o aprendizado formal entre agentes inseridos nessas redes permite reduzir os custos e o tempo (*lead-time*) do processo de P&D. Além disso, através de interações sistemáticas entre agentes, é possível identificar mais detalhadamente seus interesses na realização de esforços conjuntos de P&D, o que facilita a definição das linhas de investigação a serem privilegiadas. Desse modo, é possível elevar a produtividade das atividades de P&D, aproveitando-se as economias de escala e os ganhos de especialização gerados por esse tipo de arranjo. Neste caso, as redes consolidam-se a partir da montagem de "projetos" particulares, nos quais interagem agentes dotados de competências complementares envolvidos com diferentes etapas do ciclo de P&D-produção, conforme ressaltado nas análises de Callon et alli (1992), Zuscovitch e Cohen (1994), Hüsler, Hohn e Lütz (1994) e Lundgreen (1994).

Este tipo de aprendizado é, por excelência, consciente e intencional, na medida em que envolve um esforço de aglutinação de múltiplas competências por parte dos membros da rede. Neste sentido, ele reveste-se de um caráter "formal", envolvendo uma divisão clara de tarefas entre seus membros. Para viabilizar a realização de um esforço conjunto de P&D, alguns elementos devem ser equacionados no âmbito da rede. Inicialmente, é necessária a definição de "projetos cooperativos"¹¹ onde estejam especificadas as responsabilidades que cabem a cada agente, originando uma certa "divisão de trabalho" que possibilita a maximização do potencial inovativo do arranjo. A minimização de conflitos entre agentes no interior destes projetos requer também que sejam explicitados, *ex-ante*, os objetivos da cooperação, os meios para viabilizá-los e os mecanismos de repartição de resultados¹².

De acordo com a diversidade de competências que necessitam ser integradas ao nível da rede, o processo de P&D pode assumir um caráter interdisciplinar mais nítido, envolvendo não apenas uma divisão de tarefas entre firmas industriais (de base tecnológica e/ou dos setores usuários), mas também interconexões com a infra-estrutura científico tecnológica. Neste sentido, é possível associar os fluxos internos à rede a uma transmissão de estímulos semelhante àquela retratada no modelo de ligações em cadeia (*chain linked model*) de organização das atividades inovativas, retratado por Kline (1986). Os fluxos de

¹¹ Neste caso, destaca-se incorporação de "metodologias" direcionadas ao gerenciamento dos projetos de desenvolvimento de novos produtos e processos. Três aspectos estão geralmente presentes nestas metodologias: (i) a definição de critérios para "seleção" dos projetos a serem implementados, que considerem o potencial técnico-econômico dos mesmos; (ii) o estabelecimento de uma "divisão de trabalho" específica a cada projeto cooperativo, que contemple e integre as competências específicas dos agentes; (iii) o "controle" permanente dos resultados obtidos em termos de qualidade, custo e desempenho.

¹² Em determinadas circunstâncias, pode se tornar necessária a mediação de instâncias externas - como uma agência governamental - para resolver conflitos quanto à definição de responsabilidades e à repartição de resultados.

informação que conectam os diferentes agentes integrados a estas redes podem ser bastante complexos, estando associados a mecanismos de retro-alimentação (*feed-back loops*) entre diferentes estágios do processo de P&D. Estes mecanismos assumem particular importância em ambientes tecnologicamente dinâmicos, nos quais o reforço da competitividade requer a introdução continuada de inovações no mercado. Além disso, quando o processo inovativo requer a integração de diversos conhecimentos, assumido um caráter inter ou multidisciplinar, o conceito de “rede” adquire particular relevância para viabilização do processo inovativo, conforme ressalta a análise Rothwell (1992). Nestas circunstâncias, observa-se um fortalecimento da busca de competências complementares pelas firmas, seja através de múltiplas formas de alianças tecnológicas, seja através da intensificação da cooperação horizontal e vertical¹³.

2. Complexidade tecnológica e mecanismos de aprendizado em redes de firmas

A elaboração de tipologias tem sido um recurso recorrentemente utilizado na literatura para discutir a diversidade institucional das redes de firmas. Em contraste com outros tipos de recorte, é possível considerar as interconexões que se estabelecem entre as características das tecnologias mobilizadas e as possíveis exigências em termos do tipo e da intensidade dos mecanismos de aprendizado que tendem a prevalecer em cada tipo de arranjo. De fato, a consolidação de redes de firmas não ocorre em um “vácuo”, estando fortemente condicionada pela complexidade das tecnologias que necessitam ser mobilizadas. Nesse sentido, é possível identificar duas tendências que explicam o aumento da complexidade tecnológica do ambiente no qual as firmas se encontram inseridas (Joly e Mangematin, 1995). A primeira delas relaciona-se ao aumento da complexidade do processo de produção em termos do número de insumos (ou *inputs*) requeridos, o qual acarreta um aumento na utilização de recursos externos. Essa tendência reflete-se também no próprio produto gerado, cuja “arquitetura” em termos do padrão de integração de componentes pode ser extremamente complexa¹⁴.

Uma segunda tendência refere-se ao aumento do conjunto de conhecimentos e competências que necessitam ser integrados de modo a tornar factível a realização da produção e a possibilitar a introdução continuada de inovações tecnológicas. A complexidade das tecnologias integradas ao nível da rede afeta decisivamente a natureza dos processos de aprendizado gerados nestes arranjos, na medida em que impõe determinados requisitos quanto à integração de conhecimentos e competências. Em particular, observa-se que determinadas características da base de conhecimentos necessária para gerar inovações tecnológicas afetam diretamente as possibilidades de cooperação entre firmas. A primeira delas envolve o caráter “tácito” dos conhecimentos relevantes. Um outro

¹³ Esta maior “abertura” das firmas para relacionamentos externos contempla múltiplas formas de arranjos institucionais (*joint ventures*, acordos formais e informais de cooperação, etc.), conforme apontado por Chesnais (1988).

¹⁴ Henderson e Clark (1990) salientam esse aspecto, utilizando o conceito de “configuração da arquitetura do produto” para definir os padrões através dos quais componentes e subsistemas interagem entre si. Nesse sentido, os requisitos de compatibilidade entre componentes e a necessidade de um certo balanceamento entre a performance dos mesmos condicionam o aperfeiçoamento do sistema. Alguns autores correlacionam esse aspecto à existência de pontos de estrangulamento que orientam a realização de desenvolvimentos tecnológicos, tais como os de “*technological guideposts*” (Sahal, 1985) e “*reverse salients*” (Hughes, 1983).

aspecto importante diz respeito à “complexidade” da “base de conhecimentos”, a qual pode ser correlacionada a dois aspectos: (i) a diversidade de disciplinas e tecnologias que necessitam ser integradas de maneira a gerar inovações; (ii) o espectro de diferentes competências relacionadas ao processo de produção e a atributos do produto e da demanda. Quanto mais “complexa” for a base de conhecimentos, mais necessário será o desenvolvimento de mecanismos específicos que permitam integrar os vários fragmentos do conhecimento gerados externamente, reforçando-se a importância de vínculos cooperativos com outros agentes, bem como de mecanismos de transferência que facilitem aquela integração¹⁵. Desse modo, a consolidação de redes baseadas em interações sistemáticas entre agentes permite uma melhor “formatação” dos conhecimentos às exigências do processo inovativo. Por outro lado, quanto mais complexos forem os conhecimentos requeridos, mais difícil será a padronização dos fluxos informacionais e dos procedimentos organizacionais entre as firmas. Nestas circunstâncias, os arranjos cooperativos devem ser suficientemente flexíveis, de modo a permitir a aproximação dos agentes e a integração das respectivas competências, de acordo com os requisitos dos processos de produção e inovação.

A partir dos elementos mencionados, é possível avançar no sentido de uma sistematização de “modelos estilizados” de redes de firmas, ressaltando-se as particularidades dos processos de aprendizado em cada tipo de arranjo. Visando captar a heterogeneidade institucional das redes de firmas, dois critérios de classificação destes arranjos são considerados: (i) características das tecnologias empregadas em termos de determinados atributos técnicos, os quais definem um certo nível de complexidade para o processo de produção; (ii) características do ambiente sócio-cognitivo no qual a rede se insere, particularmente em termos da diversidade de conhecimentos e competências que necessitam ser mobilizados para produzir de maneira eficiente e para gerar inovações nos respectivos mercados. Com base nestes critérios, três tipos distintos de redes de firmas podem ser caracterizados, cujas principais características dos processos de aprendizado são discutidas a seguir.

3. Mecanismos de aprendizado em Redes de Firms: uma análise tipológica

3.1 - Redes Tradicionais e a ênfase no aprendizado coletivo informal

Estas redes estão geralmente associadas a produtos pouco complexos em termos da sua estrutura de componentes, que são produzidos em escala reduzida, a partir de uma base de conhecimentos relativamente simples. Neste caso, os ganhos competitivos gerados pela estruturação da rede podem ser associados a um processo de “especialização flexível” (Piore e Sabel, 1984) entre fornecedores, que resulta na queda dos custos de produção e no aumento da flexibilidade produtiva. Exemplos deste tipo de arranjo estão associados a diferentes indústrias, tais como têxtil, vestuário, calçados, móveis e artefatos de metal. Estas redes envolvem, em geral, um intercâmbio não sistemático de informações sobre a

¹⁵ Nesse sentido, Malerba e Orsenigo (1993, p 66-69) sugerem que as alternativas em termos da montagem de arranjos cooperativos entre firmas alargam-se à medida que as oportunidades tecnológicas tornam-se mais “pervasivas” - direcionando-se para uma maior variedade de produtos e mercados - e que a base de conhecimentos torna-se mais complexa.

qualidade e performance dos componentes. Isto não significa que, em determinados arranjos, não possa haver um intercâmbio horizontal de informações mais intenso, devido à presença de associações empresariais e centros de prestação de serviços técnicos especializados. Como tendência geral, no entanto, observa-se que fluxos informacionais assumem um caráter uni-direcional, originando-se de agentes responsáveis pela comercialização (*dealers*) e de firmas fornecedoras de insumos críticos na direção da vasta teia de produtores integrados ao arranjo. Geralmente, estes fluxos envolvem a pré-definição do design e de outros atributos das peças que devem ser atendidos pelos fornecedores. Devido à simplicidade das informações transmitidas e ao caráter não-sistemático do processo de transmissão, raramente observa-se a criação de uma infra-estrutura particular ou a definição de protocolos específicos que facilitem a comunicação entre agentes.

Uma das principais características desse tipo de rede refere-se à importância limitada dos esforços inovativos “formais” consubstanciados em atividades de P&D. Isto não significa que os esforços inovativos “informais” não desempenhem um importante papel para a obtenção de ganhos de eficiência no âmbito destes arranjos. Em primeiro lugar, este tipo de aprendizado induz o fortalecimento das competências dos fornecedores, facilitando a melhoria (*upgrade*) do design de produtos e componentes. Em segundo lugar, este aprendizado facilita a difusão de padrões técnicos mais sofisticados, reduzindo assimetrias entre fornecedores quanto ao nível de eficiência produtiva. Outro aspecto importante refere-se à difusão de padrões de controle de qualidade mais rígidos através destas interações, assim como de técnicas organizacionais mais modernas que aumentam a produtividade ao longo da cadeia de suprimento. Finalmente, a interação entre agentes desempenha um papel importante na coordenação de ações coletivas dos membros da rede, reforçando os compromissos mútuos estabelecidos entre eles.

O caráter “não-complexo” dos produtos gerados afeta a intensidade e a orientação dos esforços inovativos realizados nestes arranjos. De fato, os esforços inovativos assumem um caráter não-sistemático, envolvendo inovações incrementais baseadas em mecanismos de aprendizado que emergem como subproduto das práticas produtivas adotadas. Apesar disso, a possibilidade de “*innovation without R&D*” (Gottardi, 1996) é um aspecto que distingue as redes mais dinâmicas daquelas que envolvem uma mera fragmentação de tarefas. Neste sentido, Gottardi salienta que os esforços orientados à racionalização dos processos produtivos e ao *upgrade* dos produtos geram uma série de “externalidades tecnológicas” indutoras de ganhos de eficiência para o conjunto de firmas integradas ao arranjo¹⁶. Os próprios esforços inovativos de caráter “formal” - consubstanciados em gastos de P&D - adquirem algumas especificidades neste tipo de rede. Geralmente, estes esforços estão baseados numa centralização das atividades de design nas firmas montadoras ou em agentes distribuidores, envolvendo melhorias incrementais nos produtos gerados e variações dos componentes que devem ser atendidas pelos fornecedores. É possível também identificar alguns “nichos” mais dinâmicos do mercado atendido por estas indústrias, que trabalham com produtos mais sofisticados do ponto de vista tecnológico, como o de calçados esportivos, por exemplo. Nestes segmentos de mercado, as atividades

¹⁶ Segundo Gottardi, “*every business liberates positive externalities which can be appropriated by others, especially when there are ‘branch’ relations, physical proximity and cooperation habits... The competitiveness of a such system can therefore be founded on efficient incrementalism, more than on the development of new paradigm or radical innovations, which is believed could be supplied by R&D*”. (1996, p. 126)

de design requerem um nível de capacitação mais elevado, sendo comumente centralizadas em grandes firmas montadoras, que coordenam uma extensa teia de fornecedores com base na definição de rígidos padrões de qualidade a serem atendidos.

Segundo Gottardi (1996), a experiência dos distritos industriais italianos em termos da paulatina sofisticação dos mecanismos de aprendizado poderia ser extrapolada para outros arranjos da mesma natureza. A realização de atividades inovativas baseia-se, nesse caso, num processo localizado de mudança tecnológica, no qual as taxas de difusão são elevadas devido à proximidade espacial entre os agentes, e no qual se pode observar uma repartição de investimentos ao longo dos diferentes estágios da cadeia produtiva. A princípio, este padrão de realização de atividades inovativas pode ser transposto para qualquer tipo de distrito industrial de pequenas firmas. No entanto, para esse padrão prosperar, é necessária a presença de uma estrutura industrial que capte estímulos do mercado capazes de orientar a realização dos esforços inovativos. Neste sentido, Gottardi é possível destacar o papel fundamental desempenhado por dois grupos distintos de agentes: (i) firmas líderes de maiores dimensões que procuram captar as tendências do mercado, ajustando o design do produto e formulando ordens de pedidos de componentes aos fornecedores que incorporam aquelas tendências; (ii) firmas fornecedoras de componentes, cujas atividades são reguladas pelas firmas líderes através de diversos procedimentos de subcontratação. Ambos tipos de firmas são importantes para viabilizar um processo coletivo de aprendizado: as primeiras na introdução de inovações no design dos produtos que induzem mudanças nos sistemas de produção, enquanto as segundas na introdução de inovações técnico-produtivas nas suas respectivas áreas de especialização.

3.2 - Redes Estruturadas e a ênfase na diversidade dos mecanismos de aprendizado

Estas redes compreendem empresas que interagem entre si no interior de cadeias produtivas complexas, estando associadas à crescente sofisticação das relações interindustriais na produção de bens que incorporam um grande número de componentes. Os principais atores presentes nestas redes são grandes firmas montadoras (as quais muitas vezes operam como integradoras de sistemas) e fornecedores de subsistemas e componentes a serem integrados no produto final. Neste caso, o processo de produção envolve uma complexa hierarquia de componentes que necessitam ser integrados ao nível da rede. Exemplos de indústrias de montagem de produtos baseados numa “arquitetura modular”, tais como a automobilística, computadores e equipamentos eletrônicos podem ser associados a este tipo de arranjo. Como variante deste tipo de arranjo, é possível citar também a estruturação de redes orientadas à obtenção de produtos sofisticados, intensivos em esforços de *engineering*, produzidos de forma unitária ou em escalas reduzidas, de forma customizada em relação às necessidades de consumidores individuais. Como exemplos, destacam-se: aeronaves e motores para aviões, sistemas de automação bancária, construção naval, computadores do tipo *mainframe*, plantas nucleares e hidroelétricas, plataformas *offshore*, bens de capital sofisticados (turbinas, por exemplo), equipamentos de robótica, sistemas de satélite e defesa.

A complexidade dos produtos gerados através dessas redes impõe a necessidade de um intenso intercâmbio de informações entre os agentes, o que favorece o aprofundamento de diversos mecanismos de aprendizado. Especificamente, a presença de *feedbacks* de fornecedores quanto às condições nas quais as operações produtivas são realizadas assume

grande importância. Alguns aspectos deste processo podem ser enfatizados. Em primeiro lugar, é possível mencionar o intercâmbio de informações relativas à performance e qualidade de componentes e subsistemas entre montadoras e fornecedores. Este intercâmbio de informações está associado à consolidação de mecanismos específicos de aprendizado que operam ao nível da arquitetura do produto, os quais viabilizam a melhoria dos produtos existentes e a geração de novos modelos com base em ajustes na arquitetura modular. O processo de co-desenvolvimento de novos componentes e subsistemas entre montadoras e empresas fornecedoras também resulta numa intensificação dos fluxos de informação entre aqueles agentes. Neste caso, os fluxos de informação assumem um caráter bi-direcional (*two-way*), fazendo uso de uma infra-estrutura informacional sofisticada (redes inter-corporativas e sistemas dedicados de EDI, por exemplo) e estando associados ao desenvolvimento de códigos específicos de comunicação.

No caso específico de produtos complexos produzidos de forma customizada, o intenso intercâmbio de informações também se faz necessário. Neste caso, o caráter “complexo” dos produtos gerados requer uma coordenação eficaz dos fluxos de informação que conectam seus diferentes membros. Algumas características particulares destes fluxos podem ser enfatizadas (Hobday, 1997). Primeiramente, é possível observar um intenso envolvimento dos usuários no intercâmbio de informações, visando identificar necessidades de modo a possibilitar a customização do produto em função das mesmas. Este envolvimento deve retroceder aos estágios iniciais de definição do projeto, mantendo-se e aprofundando-se nos estágios subsequentes do processo de desenvolvimento e produção. Em segundo lugar, é possível mencionar o intenso intercâmbio de informações sobre propriedades dos diversos subsistemas que necessitam ser compatibilizadas ao nível do projeto, o qual induz o aprofundamento de interações entre “integradores de sistemas” e o conjunto de fornecedores. Em terceiro lugar, a viabilização do projeto de desenvolvimento de produtos complexos requer a estruturação de fluxos de informação bi-direcionais entre agentes. Finalmente, destacam-se fluxos de informação relacionados a práticas sofisticadas de assistência técnica desenvolvidas entre usuários e os “integradores de sistemas”, envolvendo não apenas adaptações em função das necessidades dos usuários (incorporando um novo software, por exemplo), como também uma eventual atualização tecnológica do produto, através da incorporação de mudanças em seus subsistemas.

A possibilidade de aprofundamento do aprendizado coletivo a partir da estruturação desse tipo de rede decorre não apenas do intenso intercâmbio de informações que ocorre no interior destes arranjos, como também nos esforços tecnológicos realizados conjuntamente pelos produtores neles inseridos. No caso de indústrias de montagem de produtos com uma arquitetura “modular”, quatro efeitos deste aprendizado por interação podem ser mencionados. O primeiro deles envolve a melhoria contínua dos componentes existentes, através de mecanismos tradicionais de *learning-by-using* associados às interações entre montadoras e fornecedores. O segundo impacto envolve o desenvolvimento de novos componentes e subsistemas a serem acomodados no interior da arquitetura existente. O terceiro tipo de impacto envolve o desenvolvimento de variações nos produtos com base na mesma arquitetura. Através de interações sistemáticas com fornecedores, a firma montadora pode ter acesso a componentes mais sofisticados, que permitem um *upgrading* do nível de diferenciação para o produto gerado. Finalmente, um quarto impacto envolve adaptações e redefinições periódicas da própria arquitetura do produto. Estes aperfeiçoamentos estão associados ao aumento da “modularidade” desta arquitetura, de maneira a facilitar a integração de novos componentes e subsistemas.

No caso das redes dedicadas à produção de bens complexos “customizados”, alguns impactos adicionais do aprendizado interativo entre agentes podem ser ressaltados. Em primeiro lugar, eles facilitam a customização dos produtos de acordo com as necessidades dos usuários. Em segundo lugar, tais mecanismos reforçam as competências dos “integradores de sistemas” ao longo do tempo, particularmente quanto à gestão de projetos de desenvolvimento desses produtos. Em terceiro lugar, esta interação permite a consolidação de determinados mercados - especificamente associados aos produtos complexos gerados - que dificilmente poderiam se estruturar e operar eficazmente a partir de transações particularizadas (*arms-length transactions*). Finalmente, aqueles mecanismos induzem a consolidação de alianças tecnológicas temporárias entre firmas para fins de inovação e produção, conformando uma rede “virtual” de relacionamentos, que pode ser mobilizada para implementar novos projetos.

Os esforços tecnológicos “formais” também assumem um caráter específico nestas redes. Geralmente, estes esforços envolvem “inovações programadas”, obtidas através de projetos de desenvolvimento de produtos baseados na integração de novos componentes e subsistemas numa arquitetura modular. É também comum que as atividades de design e desenvolvimento do produto sejam repartidas entre agentes localizados em diferentes estágios das cadeias produtivas (Roy e Potter, 1996). Em função da modularidade da arquitetura dos produtos, observa-se que o design de determinados componentes e partes pré-montadas tende a ser transferido para fornecedores mais capacitados, com os *designers* das firmas montadoras trabalhando de forma próxima a seus fornecedores para garantir que componentes com o nível requerido de performance e qualidade sejam desenvolvidos. O nível de interação entre montadoras e fornecedoras varia consideravelmente ao longo da cadeia de suprimento. Especificamente, esta interação é mais forte entre montadoras e fornecedores de “primeiro nível”. São também bastante comuns situações nas quais as firmas montadoras pré-selecionam fornecedores específicos para colaborar mais diretamente em atividades de design e desenvolvimento. No caso específico de redes dedicadas à produção de produtos complexos customizados, os esforços tecnológicos “formais” envolvem projetos específicos, através dos quais se procura compatibilizar as diversas tecnologias que necessitam ser integradas para gerar esse tipo de produto. Apesar do caráter transitório desses projetos, as articulações entre agentes comandadas pelos “integradores de sistemas” assumem um caráter sistemático, extrapolando a duração do referido projeto, visando permitir a mobilização dos recursos e competências assim que a mesma se fizer necessária.

3.3 - Redes de Desenvolvimento Tecnológico e a ênfase em mecanismos formais de aprendizado

Estas redes estruturam-se no intuito de viabilizar a geração e aplicação produtiva de novas tecnologias, ainda em estágio inicial de seu ciclo de vida, que se baseiam em conhecimentos complexos e requerem vultosos investimentos em P&D. Neste caso, destacam-se as atividades desempenhadas por empresas de “base tecnológica”, especializadas em campos específicos do conhecimento e que desempenham um papel central na viabilização do processo inovativo. Outro aspecto particularmente importante dessas redes é a rotinização de inter-relacionamentos cooperativos entre firmas inovadoras e agentes inseridos na infra-estrutura científico-tecnológica - universidades, institutos de

pesquisa, centros de transferência etc. Exemplos deste tipo de arranjo estão geralmente associados a indústrias de alta tecnologia, tais como as de biotecnologia, ótica, novos materiais e semicondutores. Os ganhos competitivos proporcionados estão associados à integração de competências e qualificações complementares, o que aumenta a eficácia do processo de P&D, permitindo reduzir o “*lead time*” do desenvolvimento de novas tecnologias.

Em função da complexidade institucional destes arranjos, as formas de coordenação assumem um caráter específico, o que se reflete nos mecanismos de aprendizado gerados. Na fase de consolidação destas redes, a realização de projetos de P&D coordenados por firmas de base tecnológica é particularmente relevante. Nesta fase, destacam-se também formas mais amplas de coordenação, baseadas em programas cooperativos de caráter público ou semi-público. Comparados com outros tipos de arranjos, estas redes operam como estruturas mais voláteis, uma vez que a viabilização do processo inovativo pode requerer mudanças expressivas em sua estrutura e nas tarefas desempenhadas pelos agentes. Observa-se também uma tendência à realização de ajustes na estrutura destes arranjos, em função da evolução do “ciclo de vida” das tecnologias e produtos gerados. Ao longo dos diferentes estágios deste ciclo, o grau de centralização da estrutura tende a aumentar, com o arranjo progressivamente transformando-se de estruturas orientadas estritamente a atividades de pesquisa em arranjos com um caráter mais nitidamente produtivo. Como reflexo deste processo de centralização, é possível mencionar a inter-penetração dos direitos de propriedade entre empresas de base tecnológica e empresas localizadas nos setores finais usuários das tecnologias geradas, a qual funciona como mecanismo de incentivo que favorece a sustentação de determinadas formas de cooperação. Este processo pode resultar, inclusive, na aquisição de firmas de base tecnológica por empresas de maiores dimensões.

Um aspecto fundamental destas redes refere-se à combinação das capacitações de agentes especializados em diferentes estágios do processo de P&D, que torna possível a exploração de oportunidades tecnológicas atrativas. Neste sentido, destaca-se a redução do *lead-time* associado à transição P&D-produção, devido ao intercâmbio de informações e conhecimentos entre agentes envolvidos com diferentes estágios do processo. Além disso, destaca-se, no âmbito dessas redes, a geração de economias externas associadas à provisão de serviços tecnológicos especializados (envolvendo a realização de testes, a disponibilidade de equipamentos, etc.). A provisão destes serviços requer a pré-existência de uma demanda pelos mesmos, a qual é geralmente limitada ao nível das firmas isoladas, expandindo-se com o estabelecimento de ligações sistemáticas entre os agentes inseridos na rede. É possível mencionar também a obtenção de ganhos de especialização associados à capacitação dos agentes em diferentes campos científicos e tecnológicos, reforçando a produtividade das atividades realizadas e favorecendo a acumulação de uma massa crítica associada a ativos “intangíveis”.

No âmbito desses arranjos, a integração de competências associa-se aos múltiplos projetos cooperativos implementados pelos agentes integrados ao arranjo, a partir dos quais se consolida um processo de aprendizado coletivo que reforça as capacitações inovativas das empresas individuais. Neste sentido, é útil distinguir dois níveis distintos de integração das capacitações inovativas. O primeiro nível, mais facilmente identificável, refere-se aos diversos projetos de P&D, baseados numa repartição de tarefas entre agentes. Neste sentido, cada projeto conjunto de P&D pode ser visto como uma “rede” particular, a partir

da qual é possível identificar alguma forma de integração de capacitações inovativas. O segundo nível de integração de capacitações transcende os projetos cooperativos estabelecidos pelos agentes: de fato, se cada agente encontra-se inserido em múltiplos projetos de cooperação, é provável que os resultados obtidos em cada um deles venham a “vazar” para os demais (gerando um efeito do tipo *spill-over*), tornando possível caracterizar uma rede mais ampla de relacionamentos, a partir da qual a integração e ampliação de capacitações inovativas seria favorecida.

Os fluxos de informação que conectam os diferentes agentes integrados a este tipo de rede são usualmente bastante complexos, estando associados a mecanismos de retroalimentação (*feed-back loops*) entre diferentes estágios do processo de P&D. Em geral, estes fluxos estruturam-se a partir de relacionamentos interpessoais entre indivíduos ou grupos envolvidos no processo de pesquisa, a partir dos quais é possível viabilizar uma transmissão mais efetiva de conhecimentos “tácitos”. Neste sentido, a rede desempenha um importante papel como estrutura facilitadora da “codificação” de conhecimentos associados a diferentes quadros cognitivos e a diferentes campos técnico-científicos. Segundo Joly (1990), esta codificação envolve uma normalização mínima de "objetos técnicos", que permite a transferência de conhecimentos gerados em ambientes - universidades, institutos de pesquisa, empresas, etc. - nos quais as ações dos agentes baseiam-se em quadros de referência distintos. Este processo de codificação pode ser facilitado pela presença de “instituições-ponte” conectando diversos agentes cujas ações estão baseadas em quadros de referência distintos (como firmas de base tecnológica, empresas dos setores usuários das tecnologias desenvolvidas, universidades, institutos de pesquisa etc.) Um enfoque relativamente semelhante está presente na análise de Callon et alii (1992), que vincula a estruturação dessas redes à presença de determinados pólos (científico, tecnológico e de mercado) que se movem segundo lógicas distintas em termos de objetivos, valores e procedimentos de conduta. Nesse sentido, o intercâmbio de conhecimentos no interior da rede estaria relacionado à transferência de “intermediários” entre os diferentes “pólos” envolvidos com a geração e aplicação produtiva daqueles conhecimentos¹⁷..

A melhoria da capacidade de processamento de informações dos agentes é um aspecto central neste tipo de arranjo. Essa capacidade de processamento de informações deve contemplar, pelo menos, três aspectos. O primeiro deles refere-se à identificação de informações científico-tecnológicas “relevantes”, a partir das quais oportunidades atrativas de investimento podem ser vislumbradas. Além disso, a montagem destas redes facilita o acesso de seus membros a um maior volume de informações, tornando mais fácil identificar aquelas relevantes para a solução de problemas enfrentados no processo de desenvolvimento. O segundo aspecto refere-se à criação de mecanismos próprios de “codificação” do conhecimento no âmbito da rede, que tornam mais fácil o intercâmbio de informações entre as esferas científica e industrial. Finalmente, o terceiro aspecto refere-se à possibilidade de “integração” de diferentes conhecimentos, visando impulsionar o processo inovativo. Esta integração é favorecida pela identificação prévia das tecnologias a serem privilegiadas na articulação e pela codificação e compatibilização de conhecimentos gerados nas esferas científica e industrial.

¹⁷ É possível caracterizar diferentes tipos de "intermediários" que incorporam uma conversão do conhecimento científico em “produtos” dotados de valor econômico, tais como patentes, produtos-piloto, protótipos, testes, normas, regras e metodologias

Os esforços inovativos realizados a partir das redes de desenvolvimento tecnológico envolvem uma repartição de tarefas nos diversos estágios do ciclo de P&D. Apesar da dificuldade para identificar *ex-ante* os resultados dos projetos de P&D, estes arranjos distinguem-se daqueles estritamente associados a atividades de pesquisa, na medida em que se direcionam para tecnologias relativamente bem definidas, que desempenham uma função relevante em determinadas atividades produtivas. Desse modo, a possibilidade de obtenção de um resultado palpável estimula a montagem do arranjo cooperativo. De acordo com a diversidade de competências que necessitam ser integradas ao nível da rede, o processo de P&D pode assumir um caráter interdisciplinar mais nítido, envolvendo não apenas uma divisão de tarefas entre firmas industriais (de base tecnológica e/ou dos setores usuários), como também diversos tipos de interconexões com a infra-estrutura científico tecnológica. É possível associar os fluxos internos da rede a uma transmissão de estímulos semelhante àquela retratada no modelo de ligações em cadeia (*chain linked model*) de organização das atividades inovativas, retratado por Kline (1986).

Um dos aspectos-chave das redes de desenvolvimento tecnológico refere-se, precisamente, à criação de conhecimentos intencionalmente desenvolvidos a partir da cooperação entre agentes. A criação destes conhecimentos envolve a realização de um esforço conjunto de P&D entre os membros das redes. Nesse sentido, alguns autores procuram avançar na caracterização da morfologia interna destas redes, correlacionando-a à especificidade de diferentes etapas do processo de P&D. Albertini e Butler (1996), por exemplo, ressaltam a importância da exploração de complementaridades de competências e da redução de incertezas ao longo do processo de P&D. Através de mecanismos de aprendizado, é possível identificar de maneira mais precisa os interesses dos agentes envolvidos em esforços conjuntos de P&D, o que facilita a definição das linhas de investigação a serem privilegiadas. O aprofundamento do aprendizado por interação tem também duas outras importantes implicações. Em primeiro lugar, ele facilita a definição das “condições de apropriabilidade” relacionadas às inovações geradas, definidas a partir de uma negociação direta entre os agentes envolvidos no esforço cooperativo. Em segundo lugar, esta interação viabiliza a definição de códigos de linguagem e comunicação entre agentes que operam a partir de quadros de referência distintos, facilitando o intercâmbio de informações e a integração de competências.

4. Considerações Finais

O trabalho procurou abordar diversos mecanismos de aprendizado presentes em redes de firmas. Como conclusão do trabalho, são identificadas nesta seção algumas linhas de investigação que se mostram férteis na discussão dos impactos desses mecanismos. A primeira delas contempla a possibilidade de correlacionar-se estes mecanismos a indicadores de performance tecnológica, tanto em termos de *inputs* como de *outputs*. Supõe-se nesse sentido, que é possível identificar um elenco de indicadores relevantes para cada um dos tipos de arranjos investigados, a partir dos quais se poderia avaliar a “funcionalidade” dos mesmos enquanto estruturas capazes de possibilitar um incremento da capacitação produtiva-tecnológica de seus membros.

Uma segunda linha importante de investigação diz respeito à necessidade de aprofundamento de investigações empíricas, tendo o quadro analítico apresentado como referência básica. De fato, a vasta literatura sobre o tema elaborada nos últimos anos tem

ressaltado a heterogeneidade organizacional e institucional das redes de firmas. Em consequência, estas análises se defrontam com um certo desconforto quando procuram explicar porque algumas redes evoluem mais favoravelmente do que outras ao longo do tempo. De maneira a contribuir para esta explicação, propõe-se uma linha de desenvolvimento analítico que contemple a investigação mais detalhada de como os mecanismos de aprendizado operam em cada situação, a qual poderia utilizar como referência o quadro analítico-conceitual elaborado ao longo do artigo.

Referências Bibliográficas

- ALBERTINI, S e BUTLER, J. "R&D networking in a pharmaceutical company: some implications for human resource management", *R&D Management*, 25, 4, 1995
- ANTONELLI, C. "Localized knowledge percolation processes and information networks", *Journal of Evolutionary Economics*, no 6; pp.281-295; 1996
- ANTONELLI, C. e FORAY, D. "The Economics of Technological Clubs", *Economic Innovation and New Tecnology*, Harwood Academic Publishers, Vol 2, pp37-47, 1992
- ARGYRIS, C. e SCHON, D. *Organizational Learning*, London, Addison-Wesley, 1978
- ARROW, K.J. "The economic implications of learning by doing", *Review of Economic Studies*; no.29, pp. 155-73; 1962
- AXELSSON, B. e EASTON, G. (eds) "*Industrial Networks: a new view of reality*", Routledge, London, 1993
- BANDT, J. "Aproche meso-économique de la dynamique industrielle", *Revue d'Economie Industrielle*, n. 49, 3er trimestre, 1989
- BIDAULT, F. "Apprentissage et reseaux", *Economies et Sociétés - Série Dynamique technologique et organization*, W.1, no 5, 79-101, mai 1993
- BOBROWSKI, P. e BRETSCHNEIDER, S. "Internal and external interorganizational relationships and their impact on the adoption of new technology: an exploratory study", *Technological Forecasting and Social Change*, 46, 197-211, 1994
- BRITTO, J. "*Características estruturais e modus operandi das redes de firmas em condições de diversidade tecnológica*", Dissertação de Doutorado, IE-UFRJ, 1999
- CALLON, M., LAREDO, P., RABEHARISON, V., GONARD, T. e LORAY, T. "The management and evaluation of technological programs and the dynamics of techno-economic networks: the case of the AFME", *Research Policy*, 21, 215-236, 1992
- CHESNAIS, F. "Les accords de cooperation technique entre firmes independantes", *STI Revue*, no 4, pp 53-133, 1988
- COHEN, W.M. e LEVINTHAL, D.A. "Innovation and learning: the two faces of R&D", *Economic Journal*, vol.99, 569-596, 1989
- COOMBS, R., RICHARDS, A., SAVIOTTI, P.P. e WALSH, V. (eds) "*Technological Collaboration: the dynamics of cooperatiom in industrial innovation*", Edward Elgar, 1996
- CROSSAN, M.; LANE, H.W. E WHITE, R.E. "An organisational learning framework; from intuition to institution", *Academy of Management Review*, vol.24, no 3, pp 522-537, 1999
- DODGSON, M. "Organizational Learning: a Review of Some literatures", *Organization Studies*, 14/3, 375-394, 1993
- DOSI, G. "*The contribution of economic theory to the understanding of a knowledge-based economy*", IIASA, WP- 95-96, june 1995
- DOSI, G. e MALERBA, F. "Organizational Learning and Institutional Embeddedness", in: DOSI, G. e MALERBA, F. (eds) *Organisation and Strategy in the Evolution of Enterprise*, Elsevier Publishers, 1996
- FORAY, D. e LUNDVALL, B.A. "The knowledge-based economy: from the economics of knowledge to the learning economy", in: *Employment and Growth in the Knowledge-Based Economy*, *OECD Documents*, 1996
- GOTTARDI, G. "Technology strategies, innovation without R&D and the creation of knowledge within industrial districts", *Journal of Industry Studies*, volume 5, no 3, pp 119-134, December, 1996
- GRABHER, G. (ed) "*The embedded firm: the socioeconomic of industrial networks*", Routledge, London, 1993

- GRANDORI, A. e SODA, G. "Inter-firm Networks: Antecedents, Mechanisms and Forms", *Organization Studies*, 16/2, 183-214, 1995
- HAKASSON, H. "*Corporate technological behaviour: cooperation and networks*", Routledge, London and New York, 1989
- HAUSLER, J., HOHN, H., LUTZ, S. "Contingencies of innovative networks: a case study of successful interfirm R&D collaboration", *Research Policy*, 23, 47-66, 1994
- HENDERSON, R. e CLARK, K. "Architectural Innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms", *Administrative Science Quarterly*, 35, 9-30, 1990
- HERDBERG, B. "How organizations learn and unlearn", *Handbook of Organizational Design*, vol.1, P. Kystrom e W. Starbuck (eds.) 3-27, Oxford, Oxford University Press, 1981
- HOBDAY, M. "*Product complexity, innovation and industrial organisation*", mimeo, SPRU-Sussex, February, 1997
- HUBER, G.P. "Organizational learning: the contributing processes and the literatures", *Organisation Science*, 2, pp. 88-115, 1991
- JOLY, P.B. "Éléments d'analyse des systèmes d'innovation dans le domaine biovégétal: flexibilité et coûts de transaction". *Revue D'Économie Industrielle*, no 51, pp.33-51, 1e trimestre, 1990
- JOLY, P.B. e MANGEMATIN, V. "Les acteurs sont-ils solubles dans les reseaux?", *Economies et Sociétés, Série Dynamique technologique et organization*, w, no 2, p 17-50, septembre, 1995
- 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
- KLINE, S.J. "Innovation is not a linear process", *Research Management*, july-august, pp. 36-45, 1986
- LEVITT , B. e MARCH, J. "Organizational Learning", *Annual Review of Sociology*, 14, 319-340, 1988
- LUNDGREEN, A. "*Technological Innovation and Network Evolution*", Routledge, 1994
- LUNDEVALL, B. "Explaining interfirm cooperation and innovation: limits os the transaction-cost approach" in: GRABHER, G. (ed) "*The embedded firm: on the socioeconomics of industrial networks*", Routledge, London and New York, 1993
- LUNDEVALL, 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
- JOHNSON, B. e LUNDEVALL, B."The Learning Economy", *Journal of Industry Studies*, Vol.1, no 2, 23-42. December, 1994
- LUNDEVALL, B. e JOHNSON, B. "Closing the Institutional Gap?", *Revue d'Economie Industrielle*, n. 59, ler trimestre, 1992
- MALERBA, F. "Learning by firms and incremental technical change", *The Economic Journal*, 102, July 1992
- NELSON , R. e WINTER, S. "*An Evolutionary Theory of Economic Change*", Cambridge, University Press, 1982
- PIORE, M. e SABEL, C. *The Second industrial Divide*, New York, Basic Books, 1984
- ROTHWELL, R. 'Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s', *R&D Management*, 22, 3, 1992
- ROY, R. e POTTER, S. "Managing engineering design in complex supply chains", *International Journal of Technology Management*, vol 12, no 4, 403-419, 1996
- SENKER, J. "Tacit knowledge and models of innovation", *Industrial Corporate Change*, volume 4, number 2, 1995
- SENKER, J. e FAULKNER, W. "Networks and Tacit Knowledge in Innovation", *Economies et Sociétés, Série Dynamique technologique et organization*, no 2, p 60-98, septembre, 1995
- SIMON, H. "Bounded rationality and organizational learning", *Organization Science*, 2/1, pp. 125-134, 1991
- ZUSCOVITCH, E. e BAS, C. "Apprentissage technologique et organization: une analyse des configurations micro-économiques", *Economies et Sociétés - Série Dynamique technologique et organization*, W. 1, no 5, 153-195, mai 1993
- ZUSCOVITCH, E. e COHEN, G. "Network characteristics of technological learning: the case of the european space program", *Economic Innovation and New Tecnnolgy*, vol. 3, 139-160, 1994