



## USO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES NO ESTUDO DA TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO EM REDES: UMA ABORDAGEM BASEADA NAS CAPACIDADES ABSORTIVAS

**Júlio César Bastos de Figueiredo (ESPM/PMGI)**

**Resumo:** Neste trabalho será apresentado um modelo computacional, baseado no paradigma da programação multiagentes com o uso da plataforma Netlogo voltado para o estudo da transferência de conhecimento em redes de empresas. A base conceitual para descrição do mecanismo e da dinâmica de troca de conhecimentos é a teoria das capacidades absorptivas. Percebe-se que, dependendo dos valores dos parâmetros do modelo, que uma rede baseada em trocas de conhecimentos pode se tornar rica, com um grande número de relações de troca, ou convergir para a eliminação da maior parte das empresas, o que leva à formação de uma estrutura do tipo oligopólio, onde apenas poucas empresas detentoras de conhecimento conseguem continuar a agir no mercado.

**Palavras-chave:** redes de empresas, capacidades absorptivas, programação multiagente.

### 1 INTRODUÇÃO

A capacidade de criar e de transferir conhecimento está entre as principais fontes de vantagem competitiva das empresas que operam em redes. A própria organização pode ser considerada uma rede, onde o conhecimento é gerado em várias partes e transferido para diversas unidades de negócio, inter-relacionadas dentro da própria empresa (HEDLUND, 1986; BARTLETT e GHOSHAL, 1998). O desenvolvimento destas redes não se restringe apenas às relações de transferência de conhecimento entre unidades de negócio de uma empresa, mas também abrange as relações de troca de conhecimento entre as diversas empresas que fazem parte da rede de negócios, incluindo parceiros, fornecedores e canais de distribuição.

A melhoria dos contatos diretos na rede pode ajudar a minimizar custos e a facilitar o entendimento e a comunicação com mercado. Ou seja, busca-se estabelecer trocas contínuas de conhecimento envolvendo tanto o conhecimento tecnológico como o conhecimento de mercado das empresas na rede.

O fato do conhecimento ao longo do tempo poder se tornar obsoleto, em virtude de transformações tecnológicas ou de mercado, faz com que as empresas, ao longo do tempo, estabeleçam várias relações de troca com diversas empresas. Isto faz também com que o conhecimento tecnológico se desenvolva e passe a servir de subsídio para trocas futuras. A vantagem competitiva que as empresas detêm está então em parte relacionada com sua habilidade de facilitar e controlar a transferência destes conhecimentos (GIRMA, 2005).

A dinâmica das trocas de conhecimento entre as empresas podem levar a diversas configurações (redes) que são em geral difíceis de serem modeladas por métodos econométricos clássicos. Para compreender essa dinâmica, na maioria das vezes tenta-se analisar o problema desmontando-o em partes para depois examinar essas partes e tentar compreender o todo, utilizando, por exemplo, estatísticas descritivas ou modelos de regressão.



Todavia, as empresas e seu ambiente constituem-se em parte de um sistema. Um sistema é um conjunto de duas ou mais entidades ou elementos, cada qual tendo um papel de atuação sobre todo do sistema. O efeito sobre cada entidade depende dos efeitos causados por todas as demais entidades. Os sistemas apresentam propriedades que nenhuma de suas partes isoladamente poderia apresentar. Como consequência, um sistema não pode ser compreendido simplesmente dissecando-o, o que significa analisá-lo por partes. Para compreender completamente um sistema, deve-se identificar o todo, o contexto do qual o sistema faz parte, explicar o comportamento desse todo, e então explicar o comportamento do sistema em questão (FIGUEIREDO, 2009). Técnicas de modelagem tais como a dinâmica de sistemas (STERMAN, 2000) e a programação multiagentes (FERBER, 1999) têm sido cada vez mais utilizadas para capturar e estudar a dinâmica de sistemas complexos na administração.

Neste trabalho será apresentado um modelo computacional, baseado no paradigma da programação multiagentes com o uso da plataforma Netlogo, cujo objetivo é servir como ferramenta para a discussão de tópicos ligados à transferência de conhecimento em redes de empresas. A base conceitual para descrição do mecanismo e da dinâmica de troca de conhecimentos será a teoria das capacidades absorptivas (COHEN e LEVINTHAL, 1989). O objetivo será discutir e entender alguns dos mecanismos que estimulam a troca de conhecimentos nas redes e as estruturas dinâmicas que surgem em decorrência destas trocas.

## **2 TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADES ABSORTIVAS**

O processo de transferência do conhecimento entre empresas não se dá de forma aleatória. As organizações desenvolvem estruturas e processos internos para facilitar o aprendizado e o desenvolvimento do conhecimento (INKPEN, 1998). Alguns estudos mostram como a organização interna das empresas pode facilitar o fluxo de transferência e o aprendizado de novos conhecimentos (HEDLUND, 1986; BARTLETT e GHOSHAL, 1998). Além da estrutura interna, a habilidade de uma empresa para aprender com outras empresas depende também de sua habilidade para reconhecer o valor de novos conhecimentos, assimilando-os e aplicando-os (COHEN e LEVINTHAL, 1989). Esta habilidade está relacionada à definição de um importante constructo conhecido como capacidade absorptiva (COHEN e LEVINTHAL, 1989).

O conceito de capacidade absorptiva foi introduzido por Wesley Cohen e Daniel Levinthal em um artigo de 1989. Para estes autores, a capacidade absorptiva de uma empresa depende de sua experiência, dos conhecimentos especializados, e de processos que lhe permitam aproveitar esses conhecimentos.

O principal elemento formador da capacidade absorptiva é o conhecimento especializado que a empresa já possui. Ele está diretamente relacionado ao desenvolvimento da capacidade absorptiva (NOOTEBOOM, 2000). Quanto maior for o conhecimento de uma empresa associado a uma dada competência, maior será a capacidade absorptiva desta empresa em relação a esta competência específica.

Com o passar do tempo uma empresa acaba desenvolvendo processos, políticas e procedimentos que facilitam o compartilhamento do conhecimento desenvolvido internamente. Todavia, este compartilhamento não depende apenas da interface operacional que a empresa desenvolve com o ambiente externo, mas também da estrutura de comunicação com este ambiente. Esta característica está relacionada com a chamada aprendizagem



interorganizacional (LANE e LUBATKIN, 1998). Tal aprendizagem é estimulada quando existem alianças entre parceiros que tenham conhecimentos complementares suficientes para justificar e facilitar o aprendizado e a disseminação do conhecimento entre as partes. Ou seja, a formação das parcerias é favorecida quando as empresas possuem conhecimento complementares para serem trocados (LANE e LUBATKIN, 1998). Para Cohen e Levinthal (1990), associações e parcerias também aumentam as chances de uma empresa de adquirir novos conhecimentos, ou seja, ao aumentar seus conhecimentos por meio das parcerias, as organizações aumentam sua capacidade absorptiva.

O conhecimento é então um ativo dinâmico que evolui à medida que é utilizado e reutilizado, ou seja, é um produto da constante interação entre as empresas. Uma vez que capacidade de criar e de transferir conhecimento está entre as principais fontes de vantagem competitiva das empresas, o desenvolvimento e a manutenção da capacidade absorptiva tornam-se essenciais para a manutenção da competitividade no longo prazo.

## 2.1 REDES DE CONHECIMENTO

É grande o interesse acadêmico pelo estudo dos fluxos de conhecimento entre empresas (GUPTA e GOVINDARAJAN, 2000). Neste contexto, o conceito de capacidade absorptiva é utilizado como fator importante para a análise da aquisição do conhecimento (LYLES e SALK, 2006). Em particular, há evidências de que a capacidade absorptiva das subsidiárias facilita a transferência do conhecimento entre outras partes de uma empresa multinacional (LYLES e SALK, 2006). Gupta e Govindarajan (2000) observaram que o fluxo de conhecimento em uma empresa está correlacionado positivamente com a riqueza dos canais de transmissão, com a motivação para adquirir o conhecimento e com a capacidade absorptiva. Quanto maior a capacidade absorptiva, mais elevada será o nível de transferência do conhecimento. Cohen e Levinthal (1989) afirmam que as atividades de pesquisa e desenvolvimento ajudam a impulsionar a capacidade absorptiva.

Nas redes o conhecimento é constantemente gerado, comunicado, re combinado e trocado. Em tais ambientes de competição, em que rapidamente o conhecimento adquirido pode se tornar obsoleto, as empresas têm que se empenhar em aprender permanente. É neste sentido que as pesquisas sobre "redes de inovação" (ZANDER, 1999; PYKA, 2002) tornaram-se uma alternativa proeminente para o estudo do acesso às fontes externas de conhecimento. Nas redes da inovação, que são o resultado de vários colaboradores, os atores do processo de inovação compartilham e desenvolvem o conhecimento novo com outros atores (PYKA, 2002). A organização em redes é uma modalidade de coordenação de cadeias produtivas que é particularmente relevante em setores baseados em conhecimento. O fenômeno de redes da inovação está diretamente relacionado com a emergência das economias baseadas sobre o conhecimento a partir da década de 80 (AHRWEILER, PYKA *et al.*, 2004).

A necessidade de criação e transferência de conhecimento dentro das firmas é uma das principais motivações dos estudos sobre redes de empresas. Combinar recursos do conhecimento em redes permite a inovação a custo menor. Além disso, a cooperação em pesquisa e desenvolvimento também conduz a uma maior intensidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento (D'ASPREMONT e JACQUEMIN, 1988).

Para analisar a dinâmica dos fluxos de transferência de conhecimento em redes, as técnicas de modelagem estatística tradicional em geral não são aplicáveis (AHRWEILER, PYKA *et al.*,



2004). Em lugar das técnicas clássicas, tais como as análises regressivas, simulações numéricas tem sido cada vez mais utilizadas (PYKA e FAGIOLO, 2005). Dentre as técnicas de simulação, uma que tem ganhado destaque é a modelagem baseada em agentes (TESFATSION, 2001; GILBERT e TROITZSCH, 2005).

Na modelagem baseada em agentes, os agentes em geral representam empresas heterogêneas que atuam e interagem no complexo ambiente de mercado. Estes agentes obedecem a regras baseadas nas condições de mercado e em parâmetros relativos à própria empresa. O micro comportamento de cada empresa, baseado em regras simples, dá origem a propriedades emergentes do sistema.

### 3 PROGRAMAÇÃO BASEADA EM AGENTES

De forma geral, na programação baseada em agentes, os "agentes" podem ser definidos como os elementos autônomos de software criados para desempenhar tarefas predefinidas dentro de um sistema. Esse sistema pode ser uma empresa, ou mesmo um conjunto de consumidores e empresas. As simulações multiagente são caracterizadas pela existência de múltiplos agentes interagindo uns com os outros, com pouca ou nenhuma direção centralizada. A propriedade de inteligência emergente do modelo baseado em agentes surge durante o processo de interação, de baixo para cima (*bottom-up*) e não do sentido de cima pra baixo (*top-down*) (TISUE e WILENSKY, 2004; EPSTEIN, 2006).

A programação multiagente é uma técnica de modelagem que têm crescido em uso nos últimos anos (JUDD, TEFATSION *et al.*, 2005). Por meio dela é possível observar como agentes individuais, pessoas, produtos ou organizações, interagem entre si e com seu ambiente (AXELROD, 1997). Simulação computacional é usada para descobrir propriedades emergentes do modelo e assim ganhar entendimento dentro de um processo dinâmico, o que seria muito difícil de modelar com técnicas matemáticas usuais. Deve-se então dispor de ferramentas capazes de criar, no computador, simulações de fenômenos complexos e modelos descentralizados.

O processo de modelagem multiagente pressupõe a existência de ambientes computacionais próprios para a construção dos modelos e execução das simulações. Várias são hoje as plataformas que permitem a programação de modelos com o uso dessa metodologia. Uma das mais conhecidas e utilizadas é o software Netlogo (TISUE e WILENSKY, 2004). Isso se deve principalmente ao fato deste software ser gratuito e amplamente utilizado como ferramenta de modelagem.

O Netlogo é um ambiente de modelagem programável utilizado para explorar o comportamento de sistemas complexos. Por ser gratuito, possui grande penetração na área acadêmica e de pesquisa, sendo particularmente bem conceituado para modelagem de sistemas multiagente. O Netlogo fornece um modo fácil de programar e controlar um modelo baseado em agentes. Permite que o modelador, por meio de interfaces intuitivas, possa dar simultaneamente instruções a centenas ou milhares de agentes independentes que trabalham paralelamente, tornando possível explorar as conexões entre o comportamento de microníveis e os de modelos de macroníveis que emergem das interações de muitos indivíduos.

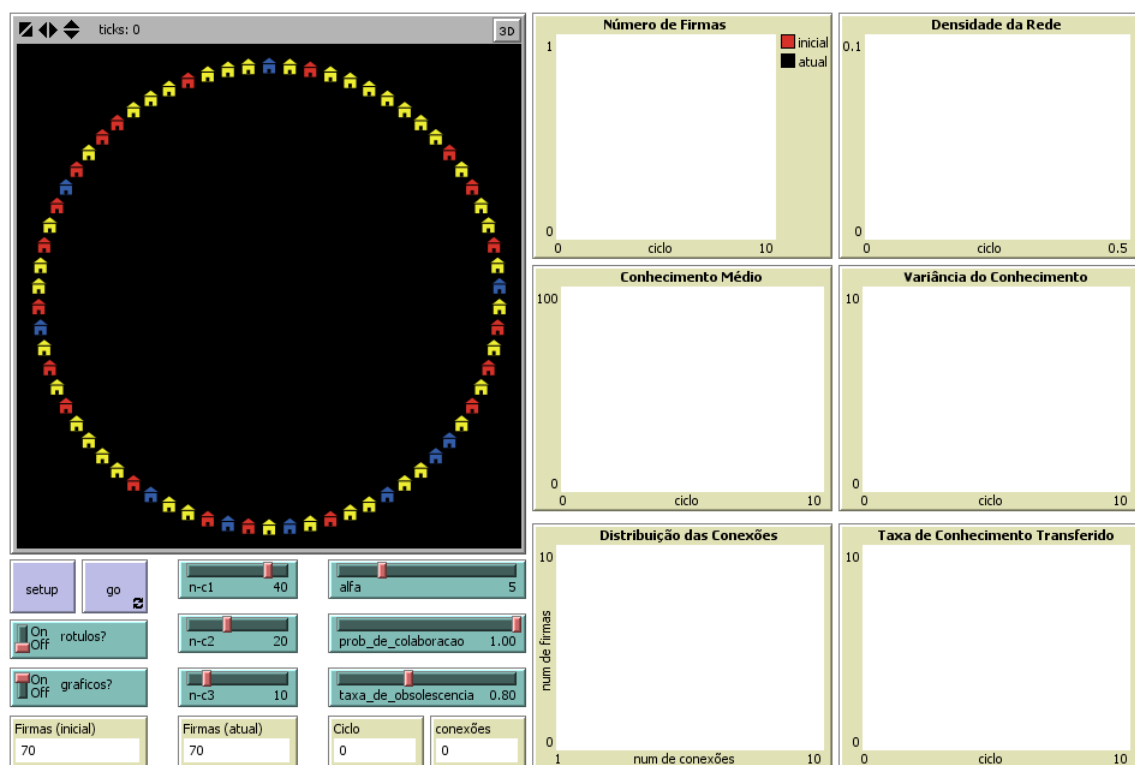
Os agentes comportam-se sem intervenção direta. Têm-se apenas algum tipo do controle sobre suas regras de comportamento e sobre seu estado interno. São instruídos de acordo com



metas e prioridades específicas para realizar um objetivo predeterminado. Os agentes podem interagir com seu meio ambiente por meio de algum processo de comunicação e troca de informações. Porém, os agentes não atuam simplesmente em resposta ao seu ambiente, eles podem exibir comportamento orientado por metas, tomando a iniciativa. Os agentes têm estados internos e objetivos individuais, e atuam para atingir seus objetivos (WEISS, 1999; ANUMBA, UGWU *et al.*, 2001).

Estes sistemas possuem capacidade para resolver problemas tradicionalmente distribuídos e possibilitam sofisticados padrões de interação. A flexibilidade e o alto nível das interações formam a base deste potente paradigma e distinguem os sistemas multiagente de outras abordagens (JENNINGS, SYCARA *et al.*, 1998).

#### 4 MODELO DA TROCA DE CONHECIMENTO EM REDES



**Figura 1:** Representação da interface gráfica do modelo desenvolvido para simular o processo de troca de conhecimento entre empresas em rede.

O modelo que será apresentado neste capítulo é uma adaptação do modelo de transferência de conhecimento em redes proposto por Cowan e Jonard em 2004.

O modelo de Cowan e Jonard (2004) busca simular a dinâmica da troca de conhecimento entre um conjunto de empresas que tentam melhorar seu desempenho desenvolvendo esses conhecimentos. Esta melhoria é feita por meio da aprendizagem interna incremental e também por meio da colaboração e troca de conhecimento com outras empresas. Ele descreve um sistema onde a difusão do conhecimento ocorre como resultado de um processo de trocas entre diversos agentes. Os agentes (as empresas) são parte de uma rede formada por um



conjunto de conexões com outros agentes. Tais conexões podem ser feitas e refeitas continuamente de acordo com suas necessidades de conhecimento ao longo do tempo.

No modelo de Cowan e Jonard (2004) foram testadas a influências de diversos tipos de estruturas de rede no desempenho da aprendizagem. No modelo que será apresentado nesta seção, é considerada uma extensão onde é a troca de conhecimentos, moderada pela capacidade absorptiva, que leva a formação da estrutura das redes e suas propriedades topológicas.

Na Figura 1 vê-se uma representação da interface gráfica do modelo desenvolvido para simular o processo de troca de conhecimento entre empresas em rede (a simulação e o código fonte poder obtidos no link <http://technical.paper.nom.br/rede>)

No modelo supõe-se inicialmente um conjunto de empresas que são especializados em determinado tipo de conhecimento:  $c_1$ ,  $c_2$  ou  $c_3$ . Este conjunto de conhecimentos deve estar presente nas empresas como pré-condição para que ocorra alguma transferência. Tais conhecimentos podem ser considerados como aqueles que inicialmente são desenvolvidos internamente, por exemplo, pelas atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Na interface da Figura 1 o número de empresas especializadas no conhecimento  $c_1$  é indicado pela variável  $n-c1$ . O número de empresas especializadas no conhecimento  $c_2$  é indicado por  $n-c2$  e o número de empresas especializadas no conhecimento  $c_3$  é indicado por  $n-c3$ . Na Figura 1 vemos que  $n-c1 = 40$ ,  $n-c2 = 20$  e  $n-c3 = 10$ , indicando um total de 70 empresas.

Cada nível de conhecimento é representado, por simplicidade, por um número em uma escala de 0 a 100. Ao se iniciar a simulação, as empresas com especialização em  $c_1$  são representadas em amarelo e os níveis são ajustados para  $c_1 = 80$ ;  $c_2 = 10$  e  $c_3 = 10$ . Já as empresas com especialização em  $c_2$  são representadas em vermelho e são configuradas inicialmente com  $c_1 = 10$ ;  $c_2 = 80$  e  $c_3 = 10$ . As empresas com especialização em  $c_3$  são representadas em azul com  $c_1 = 10$ ;  $c_2 = 10$  e  $c_3 = 80$ . À medida que os níveis de conhecimento variam, devido à obsolescência ou às trocas de conhecimento, o tipo de especialização da empresa pode mudar e, conseqüentemente, sua cor na simulação.

Quando a simulação se inicia, cada nível de conhecimento de cada empresa começa a depreciar segundo uma variável que indica taxa de obsolescência do conhecimento (*taxa de obsolescência*). Na Figura 1 esta taxa possui o valor de 0.8., ou seja, a cada ciclo discreto da simulação os níveis de conhecimento  $j$  da empresa  $i$  decaem de um valor de 0.8, ou seja:

$$c_{i,j}(t+1) = c_{i,j}(t) - 0.8. \quad \text{Equação 1}$$

Quando  $c_{i,1} = c_{i,2} = c_{i,3} = 0$ , a empresa deixa de existir, pois não é mais possível desenvolver vantagens competitivas no mercado. Isto é natural, pois uma vez que os conhecimentos de tornam obsoletos, não há mais mercado para os produtos.

A cada ciclo a empresa pode buscar desenvolver internamente os três conhecimentos específicos. O desenvolvimento interno é assumido como função da capacidade absorptiva. A capacidade absorptiva pode ser também por simplicidade expressa como uma fração de cada conhecimento da empresa (LAVADERA e ROSARIO, 2007):

$$CA_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{100} \quad \text{Equação 2}$$





Isto significa que se considera no modelo a capacidade absorptiva basicamente como uma variável associada ao ambiente endógeno da empresa. Isto está de acordo com a teoria de Cohen e Levinthal (1990). Com poucas exceções a capacidade absorptiva pode tratada como exógena aos processos e aos arranjos da organização (FOSS e PEDERSEN, 2002). A ideia geralmente aceita é de que a aprendizagem da organização está ligada a como a organização controla seus recursos humanos e seu conhecimento interno (LADO e WILSON, 1994) Para Cohen e Levinthal (1990) a capacidade absorptiva organizacional depende da capacidade absorptiva de seus membros internos, ou seja, a capacidade absorptiva de uma empresa é a soma das capacidades absorptivas internas de seus empregados.

O efeito do aprendizado interno no conhecimento é computado então como:

$$c_{i,j}(t+1) = c_{i,j}(t) + CA_{i,j}(t) \quad \text{Equação 3}$$

Portanto, a cada ciclo, parte do conhecimento que se torna obsoleto é compensado pelo aprendizado interno, ligado às atividades de P&D. Este mecanismo de compensação pode sustentar isoladamente o nível de conhecimento da empresa somente se  $CA_{i,j}(t) \geq \text{taxa de obsolescência}$ .

Cada empresa também pode elevar os níveis de conhecimento interno por meio da troca com outras empresas que possuem níveis maiores de conhecimento. Todavia, a parceria e a troca só ocorrerão se as empresas tiverem conhecimentos complementares, ou seja, se:

$$c_{i,j} > c_{k,j}, \text{ para algum valor de } j \text{ e}$$

$$c_{k,j} > c_{i,j}, \text{ para algum valor de } j .$$

Isto significa que não haverá parceria entre duas empresas se não existirem conhecimentos complementares. Seguindo este raciocínio, uma relação de parceria deixará de existir caso os níveis de conhecimento de uma das empresas superem os da empresa parceira e vice versa. No modelo, quando dois agentes se conectam, a decisão é simplesmente trocar conhecimentos ou se desfazer a conexão. Para cada agente esta decisão é baseada somente em seus níveis de conhecimento interno e nos níveis de conhecimento do outro agente. Isto define regras simples para o comportamento dos agentes. É importante perceber que no modelo proposto, as trocas ocorrem sem uma avaliação sobre as quantidades de conhecimento trocadas, ou seja, um agente pode dar muito, mas receber pouco em uma relação de parceria. Tal assimetria pode ser considerada em modificações deste modelo.

Ao se iniciar a simulação cada empresa busca, em todas as empresas com as quais não tem parceria, uma que possua algum conhecimento superior a ela em alguma das dimensões. Caso ela encontre, e caso existam conhecimentos complementares, existe ainda uma probabilidade de que a parceria não aconteça.

A probabilidade de que a parceria se estabeleça é dada pela variável *prob. de colaboração*. Na interface apresentada na Figura 1 esse valor é igual a 1. Ou seja, uma vez que seja encontrada uma empresa que apresente conhecimentos complementares a parceria será estabelecida, pois existe uma chance de 100% de que isto ocorra.

Quando uma parceria é estabelecida, uma linha é traçada entre as empresas indicando que está havendo troca de conhecimento entre elas (Figura 2).

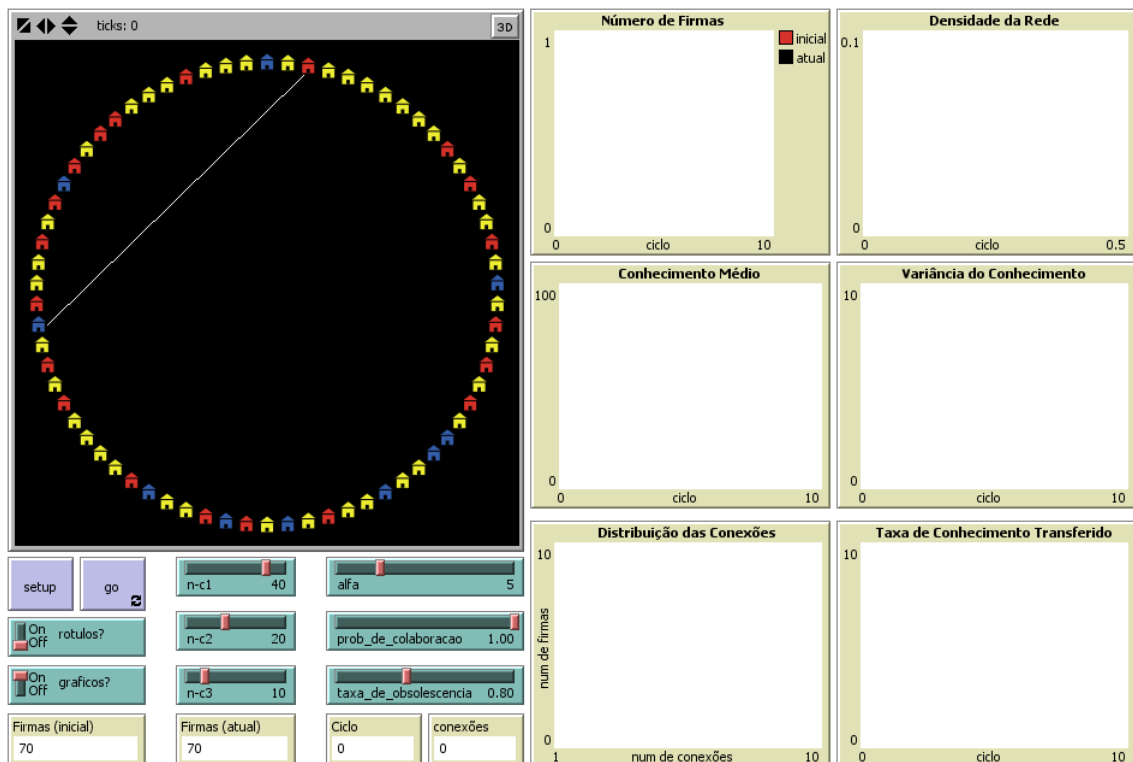


Inicia-se então o processo de troca de conhecimento. O conhecimento trocado pode ser considerado como sendo uma função da capacidade absorptiva da empresa e da diferença de conhecimento entre as duas empresas (ESTEVES e PORCILE, 2010).

Esteves e Porcile (2010) apresentam uma equação que pode ser utilizada para descrever o crescimento da capacidade absorptiva em termos da diferença de conhecimento entre as empresas (Equação 4). Esta diferença é chamada pelos autores de *hiato tecnológico*:

$$\hat{\delta} = -\beta_0 - \beta_1 G + \beta_2 G^2 \delta \quad \text{Equação 4}$$

Na Equação 4,  $\hat{\delta}$  representa o incremento da capacidade absorptiva de um agente em função da diferença de conhecimento  $G$  entre este agente e outro com o qual o conhecimento é trocado. A equação mostra a ocorrência de um efeito negativo proporcionado pela diferença do conhecimento em conjunto com o parâmetro  $\beta_1$ , e um efeito positivo gerado pela diferença do conhecimento em conjunto com o parâmetro  $\beta_2$ . Segundo estes autores, o efeito negativo é devido ao custo que há em absorver novos conhecimentos. Todavia, quando a diferença de conhecimentos é grande, os benefícios provenientes da absorção da diferença serão maiores do que os custos (isto é representado pelo termo quadrático da equação). Conforme a diferença de conhecimento se reduz, maiores serão os custos e menores serão os benefícios, gerando um menor crescimento da capacidade absorptiva.



**Figura 2:** Representação da interface gráfica do modelo desenvolvido para simular o processo de troca de conhecimento entre empresas em rede. A linha ligando duas empresas indica que estas estabeleceram uma relação de troca de conhecimentos.

A conclusão é que o ganho de conhecimento em uma relação de troca será proporcional à capacidade absorptiva e à diferença de conhecimento entre os parceiros. Porém, a relação entre o conhecimento adquirido e a diferença de conhecimento obedece a uma lei de escala que faz





com que este ganho diminua à medida que a diferença de conhecimentos cai, de forma não linear. No modelo apresentado neste capítulo vamos propor outra forma funcional para o ganho de conhecimento em uma relação de troca entre as empresas  $k$  e  $j$ :

$$\Delta c_{i,j}|_k = CA_{i,j} \cdot (c_{k,j} - c_{i,j}) \cdot S(c_{i,j}, c_{k,j}), \quad c_{k,j} \geq c_{i,j} \quad \text{Equação 5}$$

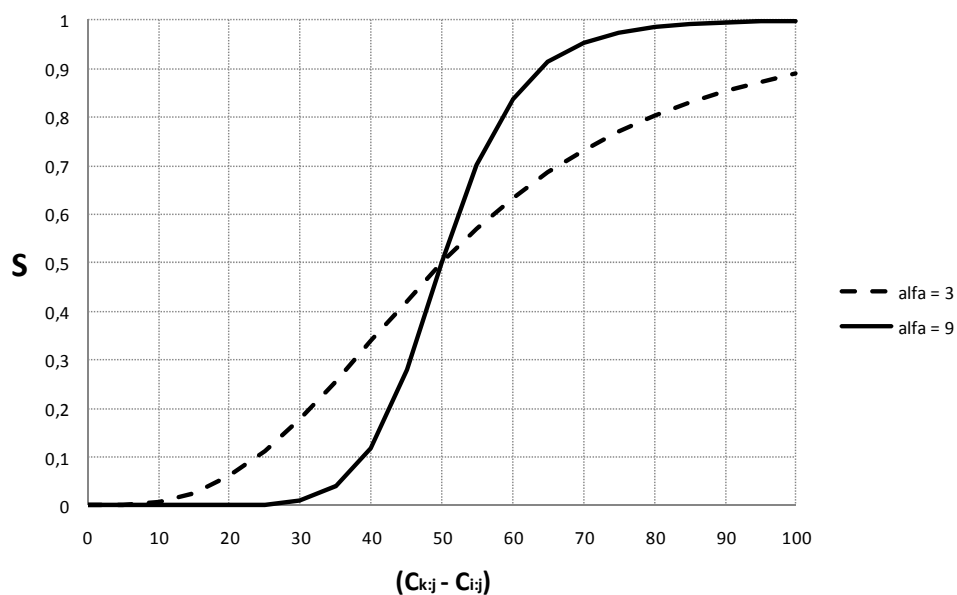
onde:

$$S(c_{i,j}, c_{k,j}) = \frac{(c_{k,j} - c_{i,j})^\alpha}{(c_{k,j} - c_{i,j})^\alpha + 50^\alpha}. \quad \text{Equação 6}$$

Na Equação 5 acima,  $\Delta c_{i,j}|_k$  representa o ganho de conhecimento  $j$  da empresa  $i$  quando em uma relação de troca com a empresa  $k$ , restrito às situações onde  $c_{k,j} \geq c_{i,j}$ . Este ganho de conhecimento é uma fração da diferença de conhecimento  $(c_{k,j} - c_{i,j})$  ponderada pela capacidade absorptiva de  $j$  na competência  $i$  ( $CA_{i,j}$ ). Todavia, a transferência de conhecimento depende também da magnitude da diferença de conhecimentos, de acordo com a Equação 6.

A Equação 6 descreve uma curva sigmoidal onde para pequenos valores de  $(c_{i,j} - c_{k,j})$  a fração do conhecimento transferido torna-se muito pequeno e cresce à medida que a diferença aumenta (Figura 3).

Na Figura 3 pode-se perceber que o parâmetro  $\alpha$  na Equação 6 representa a velocidade de resposta da função  $S$  às variações na diferença de conhecimento. Este parâmetro pode ser facilmente alterado durante a simulação. O valor de 50 na Equação 6 significa que a troca de conhecimento começa a se tornar significativa quando a diferença de conhecimento entre as duas empresas aproxima-se de 50. Este valor também pode ser alterado para outras simulações, e eventualmente poder-se-ia considerar valores diferentes para cada tipo de conhecimento.



**Figura 3:** Curva sigmoidal que descreve a fração de conhecimento que é transferido nas trocas envolvendo os agentes no modelo de simulação (Equação 6). A fração de conhecimento transferido cresce à medida que a diferença aumenta.



Quando todos os níveis de conhecimento de uma empresa se tornam maiores ou iguais aos níveis de conhecimento da empresa parceira, a relação de parceria é desfeita, por falta de complementaridade de conhecimentos.

O conhecimento total da empresa é assumido como sendo igual à média dos conhecimentos específicos ( $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$ ). O *Conhecimento Médio* representa a média desse conhecimento em todo o mercado. A *Densidade da Rede* representa a razão entre o número de conexões existentes e o número de conexões possíveis na rede. Quanto maior a densidade de rede, maior é o número de conexões de troca de conhecimento no mercado. Em geral, a densidade da rede é cresce na medida em que aumenta taxa de obsolescência dos conhecimentos, refletindo uma tendência natural de formação de grandes redes de troca de conhecimento em mercados altamente mutáveis. Por fim, a *Taxa de Conhecimento Transferido* representa o conhecimento médio transferido por unidade de tempo, que tende a cair à medida que a rede se estabiliza.

## 5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Quando clicamos *setup* cada empresa recebe um estoque de capital de conhecimento. Ela precisa deste capital inicial para atuar de forma competitiva no mercado e melhorar ainda mais sua base de conhecimento por meio de parcerias. No modelo cada agente pode formar parcerias a fim explorar fontes externas do conhecimento, buscando melhorar sua competitividade por meio do desenvolvimento de suas habilidades internas.

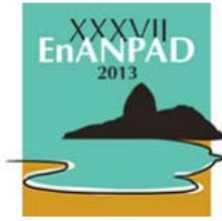
Para cada conjunto de parâmetros o sistema reage espontaneamente criando uma rede de relações pelo balanceamento da aprendizagem e da obsolescência do conhecimento das empresas.

A rede é gerada com uma configuração aleatória que, durante a simulação, evolui para uma rede com poucas empresas remanescentes dependendo da taxa de obsolescência do conhecimento e da probabilidade de interação entre elas. Esta probabilidade de interação está relacionada a aspectos, por exemplo, relativos à cultura da companhia e sua capacidade de desenvolver parcerias. Já a taxa de obsolescência esta ligada à rapidez com o que o conhecimento, principalmente o tecnológico, torna-se defasado no mercado. Por exemplo, como nos mercados de alta tecnologia.

Ao executar-se a simulação utilizando o modelo com os parâmetros apresentados na Figura 1 é possível observar a formação de redes que evoluem até uma determinada configuração estável. As empresas, ao longo da simulação, podem trocar de especialização na medida em podem acumular mais conhecimento de um dado tipo em um momento e de outro tipo em outro momento. Todavia, é possível perceber que quando a rede se estabiliza, as empresas tendem a se especializar em um determinado tipo de conhecimento.

Na Figura 4 vemos o resultado da simulação envolvendo 70 empresas configuradas inicialmente da seguinte forma:  $n-c1 = 40$ ,  $n-c2 = 20$  e  $n-c3 = 10$ . A *taxa de obsolescência* é feita igual a 0.5. Após 500 ciclos de simulação vemos que apenas 2 empresas deixaram de existir. O fato de apenas 2 empresas deixarem de existir é resultado da baixa taxa de obsolescência do conhecimento (*taxa de obsolescência* = 0.5).

Foi possível observar que para valores de obsolescência abaixo de 0.9, em geral, há um crescimento contínuo do conhecimento médio ao longo do tempo. E que também a densidade



de rede torna-se baixa, ou seja, poucas empresas do mercado acabam participando das relações de troca. Isto é mais fácil de perceber ao vermos que o maior número de conexões feitas ocorre apenas entre 2 empresas. Isto é esperado na medida em que o conhecimento não é volátil permitindo à maioria das empresas possa desenvolvê-lo internamente sem a necessidade de parcerias.

Aumentando a obsolescência percebe-se que as trocas de conhecimento não mais capazes de manter grande parte das empresas ativas. Isto faz com que muitas deixem de existir, levando à formação de redes menores de empresas especializadas.

O impacto da obsolescência na rede pode ser mais bem percebido se alterarmos o valor da taxa de obsolescência de 0.5 para 0.8. O resultado da simulação com esta alteração de parâmetro pode ser visto na Figura 5. Neste caso, ao final da simulação, 32 empresas deixaram de existir. As empresas remanescentes formaram uma rede com densidade maior do que aquela representada na Figura 4. Esta maior densidade de conexões é necessária para manter as empresas remanescentes competitivas em um mercado onde o conhecimento é mais volátil.

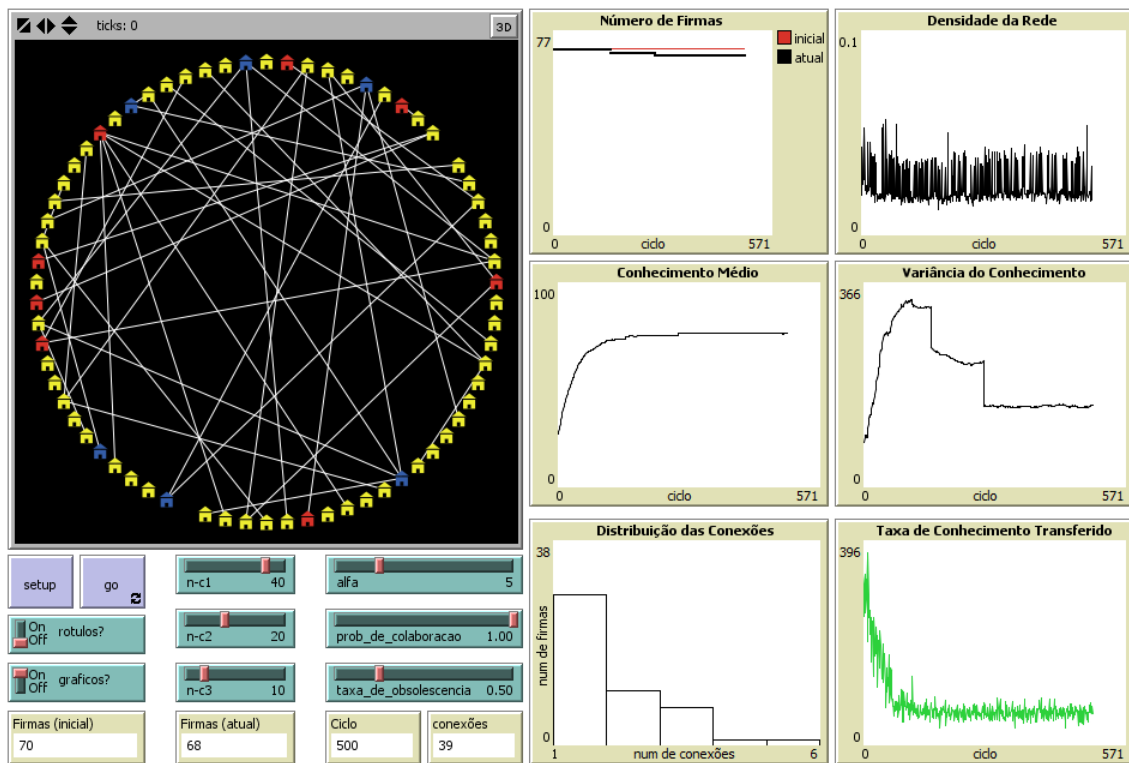
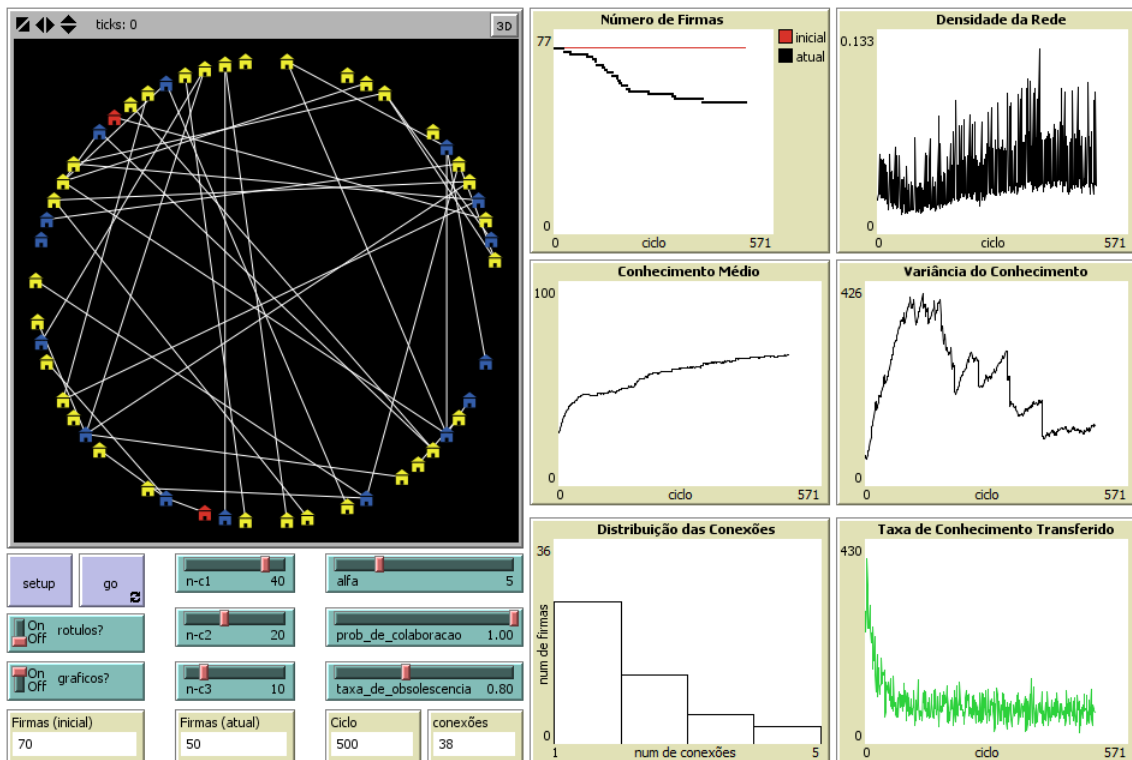
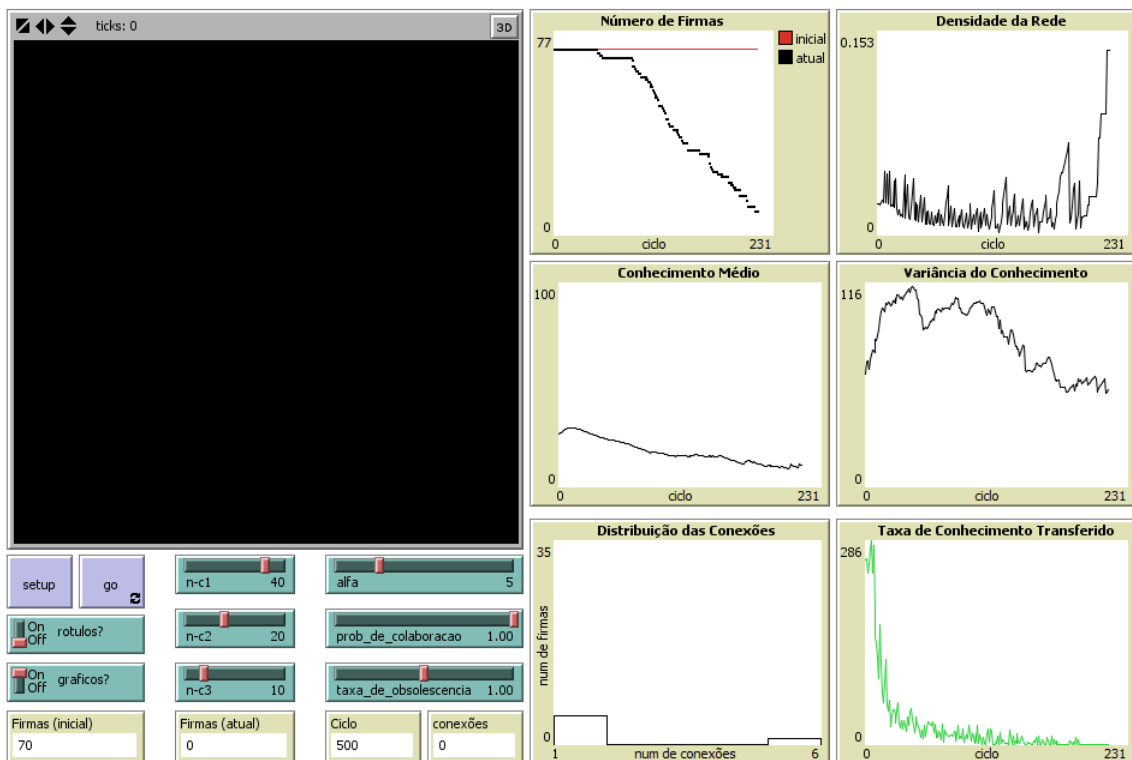


Figura 4: Simulação de 500 ciclos para um conjunto particular de parâmetros.



**Figura 5:** Simulação de 500 ciclos para o mesmo conjunto de parâmetros da Figura 4, com exceção da taxa de obsolescência que feita igual a 0.8.



**Figura 6:** Simulação de 500 ciclos para o mesmo conjunto de parâmetros da Figura 4, com exceção da taxa de obsolescência que feita igual a 1.0, o que leva as empresas à extinção após certo tempo.



Quando o valor da obsolescência é muito alto, em geral maior que 1, as empresas não conseguem aprender rapidamente e sobreviver. Consequentemente, nestas circunstâncias, todo o conjunto se extingue como se o mercado deixa-se de existir, eventualmente sendo substituído por outro via transformação tecnológica (Figura 6).

A natureza cíclica dessas redes nas indústrias pode ser entendida como correspondendo às ondas tecnológicas. Cada choque tecnológico introduz uma nova onda de atividades cooperativas nas indústrias levando a formação de novas redes. Se a taxa de obsolescência do conhecimento das empresas instaladas for muito alta, as empresas que não conseguirem fazer parte de uma rede deixarão de existir.

As configurações mais interessantes de rede no modelo surgem para níveis de obsolescência entre 0.8 e 0.9, para os quais o conjunto final apresenta um alto nível de conhecimento médio e uma rede de alta densidade de contatos. Estas pequenas variações de parâmetros levando a variações drásticas de comportamento da rede são sintomas da não linearidade do sistema. Em geral, sistemas não lineares apresentam grandes variações de comportamento para pequenas variações de parâmetros iniciais.

O modelo supõe que há transferência de conhecimento somente se há aprendizado mútuo, e este novo conhecimento adquirido aumenta a capacidade absorptiva da empresa (Cf. Cohen e Levinthal 1989). Se a transferência de conhecimento acontecer e a empresa acumular novos conhecimentos ela poderá fazer parte de novas conexões. Isto tende a aumentar a competitividade geral das empresas, porque a rede aumentará ainda mais a troca de conhecimentos e a capacidade absorptiva ao longo do tempo.

Vimos na primeira parte deste capítulo que a competitividade das empresas em novos mercados é evolutivamente caracterizada pelas trocas de conhecimento que ocorrem com o passar do tempo dentro destes mercados.

As redes formam-se pela necessidade de as organizações adaptarem-se a certas pressões contingenciais (OLIVER, 1990). Em mercados estrangeiros que envolvem rápidas mudanças tecnológicas e de relacionamento entre os membros da cadeia, a troca de conhecimento é vital para a sobrevivência das empresas. Esta suposição simples pode ser utilizada para explicar muitos dos aspectos do comportamento das empresas envolvidas na formação de redes. Além disso, o fato das empresas verem-se inseridas cada vez mais na economia do conhecimento, explorando oportunidades em diversos setores e mercados, faz com que as trocas de conhecimento tornam-se cada vez mais essenciais para a sobrevivência. E é neste sentido que o uso de técnicas e modelos de simulação, como as que foram apresentadas neste capítulo, contribuem, ajudando a melhorar nossa compreensão dos processos complexos a respeito dessas transferências de conhecimento.

## 6 DISCUSSÃO

Nas simulações foi possível perceber que a maioria das redes estáveis formadas, para altos valores de obsolescência, acaba possuindo somente alguns agentes. Tal rede torna-se estável por longo tempo nesta configuração de troca contínua de conhecimento quando ocorre uma especialização das empresas, ou seja, quando as empresas acabam por se tornar especialistas em um determinado conhecimento.



O surgimento de empresas especializadas em um determinado conhecimento que faz com que estas empresas acabem concentrando um grande número de conexões com outras empresas. Nestas redes estes agentes são caracterizados como agentes centrais por causa de seu número elevado de relacionamentos com outros agentes. Isto se deve ao fato de que a formação da rede leva a criação de condições mais vantajosas para algumas empresas, tais condições são geradas por uma distribuição desigual de um determinado tipo de conhecimento.

Este mecanismo que leva ao surgimento de empresas com grande número de conexões é conhecido na teoria de redes como acesso preferencial (BARABÁSI e ALBERT, 1999). Isto acontece porque as empresas com muitas ligações acabam aprendendo rapidamente em todas as dimensões, implicando em um conjunto ainda maior de parcerias em busca dos novos excedentes de conhecimento, o que estimula ainda mais a formação de ligações.

Com o uso desta simulação foi possível examinar a estrutura final da rede formada bem como sua evolução dinâmica. Também foi possível examinar o relacionamento entre a arquitetura da rede formada e o desempenho das empresas em termos de seu conhecimento e da capacidade absorptiva. Dependendo dos valores dos parâmetros do modelo, a rede pode se tornar rica, com um grande número de relações de troca ao longo do tempo ou convergir para a eliminação da maior parte das empresas, o que leva à formação de uma estrutura do tipo oligopólio, onde apenas poucas empresas detentoras de conhecimento conseguem continuar a agir no mercado.

Entretanto, algumas redes formadas acabam incluindo um grande número de empresas. Estas grandes redes desempenham um papel crucial para fluxos do conhecimento em mercados com baixas taxas de obsolescência do conhecimento, diminuindo a densidade da rede. A densidade da rede é uma medida na teoria de redes que está relacionada conectividade do sistema, ou seja, a razão entre o número de conexões reais pelo número de conexões possíveis. Esta razão indica um maior ou menor volume de conexões dentro do sistema. Quando há um número grande de empresas no mercado, geralmente fruto da baixa obsolescência do conhecimento, esta densidade é baixa, todavia, elevados valores de conectividade indicam o surgimento de fluxos multi canalizados de conhecimento entre grupos de empresas que se especializam, o que acaba acontecendo no caso do conhecimento se tornar mais rapidamente obsoleto. Todavia, para altas taxas de obsolescência, a conectividade é drasticamente afetada pela queda do nível de interação entre as empresas, levando eventualmente à extinção das empresas.

Concluindo, a rede é flexível e adaptável a mudanças de mercado, mas exige um gerenciamento contínuo dos processos conectivos e de P&D por parte das empresas para superar a obsolescência.

Por causa da complexidade das relações e da volatilidade do conhecimento o processo de transferência eficaz do conhecimento entre sócios parece ser moderada não somente por sua capacidade de absorção, mas também pelos padrões assimétricos das alianças. Com as trocas contínuas na rede, o conhecimento difunde-se por todas as empresas, mas não de maneira igual.

O conhecimento médio da rede é afetado pelo tamanho da rede. Quando as estruturas de rede conduzem a um nível médio elevado do conhecimento, acabam gerando também grande heterogeneidade entre os agentes. Isto é, a distribuição de níveis do conhecimento acaba sendo desigual.





Pode-se pensar também em extensões para este modelo, por exemplo, a estrutura da rede é formada apenas em decorrência das diferenças de conhecimento, porém, os agentes poderiam levar em conta as experiências passadas de trocas com outros agentes. Assim, um agente que tenha tido trocas bem sucedidas com o um agente particular, provavelmente tentará construir no futuro outra relação de troca com este agente. Pode-se pensar também em modificações que levassem em conta as reputações dos agentes ou considerar a entrada de outras empresas.

As técnicas de modelagem e simulação têm sido desenvolvidas, em geral, como ferramentas para lidar com situações passíveis de serem matematicamente estruturadas e com uma forte vocação para previsão e melhoria da eficiência. Todavia, a modelagem e a simulação podem e devem ser exploradas também como processos para captura, estruturação e compreensão dos sistemas subjacentes.

As plataformas de software voltadas hoje para a construção de modelos multiagente aumentam em muito a eficiência no processo de modelagem e permitem aos pesquisadores o uso de um instrumento motivador para construção de seu próprio processo de aprendizado. Isso abre caminho para que as ideias deste trabalho possam ser expandidas para outros campos tais como estratégia, marketing, logística, qualidade, etc. Além disso, o fato do modelo ser desenvolvido em uma plataforma de código aberto permitirá que os pesquisadores possam fazer aperfeiçoamentos no modelo, buscando cobrir detalhes específicos de seus cursos e treinamentos, bem como providenciando melhorias na interface que atendam a propostas específicas.

## 7 BIBLIOGRAFIA

AHRWEILER, P.; PYKA, A.; GILBERT, N. Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN). 2004, World Scientific Pub Co Inc. p.284.

ANUMBA, C. J. et al. A multi-agent system for distributed collaborative design. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 14, n. 5-6, p. 355-367, 2001.

AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. **Complexity**, v. 3, n. 2, p. 16-22, 1997.

BARABÁSI, A.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509, 1999.

BARTLETT, C.; GHOSHAL, S. **Managing across borders: The transnational solution**. Harvard Business Press, 1998. ISBN 0875848494.

COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Innovation and learning: the two faces of R & D. **The economic journal**, p. 569-596, 1989. ISSN 0013-0133.

\_\_\_\_\_. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative science quarterly**, v. 35, n. 1, 1990.

COWAN, R.; JONARD, N. Network structure and the diffusion of knowledge. **Journal of economic Dynamics and Control**, v. 28, n. 8, p. 1557-1575, 2004. ISSN 0165-1889.



D'ASPREMONT, C.; JACQUEMIN, A. Cooperative and noncooperative R & D in duopoly with spillovers. **The American Economic Review**, v. 78, n. 5, p. 1133-1137, 1988. ISSN 0002-8282.

EPSTEIN, J. M. **Generative social science: studies in agent-based computational modeling**. Princeton University Press, Princeton, 2006.

ESTEVES, L. E.; PORCILE, G. Um modelo dinâmico incorporando o hiato tecnológico e a capacidade absorptiva. **Encontro Regional da ANPEC**, 2010.

FERBER, J. **Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence**. Addison-Wesley, Harlow, 1999.

FIGUEIREDO, J. C. B. Planejamento orientado por cenários com o uso de modelos causais lineares e diagramas de estoque e fluxo. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 2, 2009.

FOSS, N.; PEDERSEN, T. Transferring knowledge in MNCs:: The role of sources of subsidiary knowledge and organizational context. **Journal of International Management**, v. 8, n. 1, p. 49-67, 2002. ISSN 1075-4253.

GILBERT, G.; TROITZSCH, K. **Simulation for the social scientist**. Open Univ Pr, 2005. ISBN 0335216005.

GIRMA, S. Absorptive Capacity and Productivity Spillovers from FDI: A Threshold Regression Analysis\*. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 67, n. 3, p. 281-306, 2005. ISSN 1468-0084.

GUPTA, A.; GOVINDARAJAN, V. Knowledge flows within multinational corporations. **Strategic Management Journal**, v. 21, n. 4, p. 473-496, 2000. ISSN 1097-0266.

HEDLUND, G. The hypermodern MNC—A heterarchy? **Human Resource Management**, v. 25, n. 1, p. 9-35, 1986. ISSN 1099-050X.

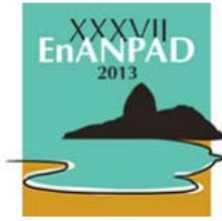
INKPEN, A. Learning and knowledge acquisition through international strategic alliances. **The Academy of Management Executive (1993-2005)**, v. 12, n. 4, p. 69-80, 1998. ISSN 1079-5545.

JENNINGS, N. R.; SYCARA, K.; WOOLDRIDGE, M. A Roadmap of Agent Research and Development. **Autonomous Agents and Multi-Agent Systems**, v. 1, n. 1, p. 7-38, 1998.

JUDD, K. L.; TEFATSION, L.; HARRINGTON, J. E. Agent-Based Models of Organizations Handbook of Computational Economics II : Agent-Based Computational Economics. In: (Ed.), v.7600, 2005.

LANE, P.; LUBATKIN, M. Relative absorptive capacity and interorganizational learning. **Strategic Management Journal**, v. 19, n. 5, p. 461-477, 1998. ISSN 1097-0266.

LAVADERA, L.; ROSARIO, D. Cluster Model. **NetLogo User Community Models**, 2007. Disponível em: < <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/Cluster> >.



LYLES, M.; SALK, J. Knowledge acquisition from foreign parents in international joint ventures: an empirical examination in the Hungarian context. **Journal of International Business Studies**, v. 38, n. 1, p. 3-18, 2006. ISSN 0047-2506.

NOOTEBOOM, B. Learning by interaction: absorptive capacity, cognitive distance and governance. **Journal of Management and Governance**, v. 4, n. 1, p. 69-92, 2000. ISSN 1385-3457.

OLIVER, C. Determinants of interorganizational relationships: Integration and future directions. **Academy of Management Review**, v. 15, n. 2, p. 241-265, 1990. ISSN 0363-7425.

PYKA, A. Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches. **European Journal of Innovation Management**, v. 5, n. 3, p. 152-163, 2002. ISSN 1460-1060.

PYKA, A.; FAGIOLO, G. Agent-based modelling: A methodology for neo-schumpeterian economics. **The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics**. Cheltenham, Edward Elgar Publishers, 2005.

STERMAN, J. **Business Dynamics**. McGraw-Hill, Inc. New York, NY, USA, 2000.

TESFATSION, L. Introduction to the special issue on agent-based computational economics. **Journal of economic Dynamics and Control**, v. 25, n. 3-4, p. 281-293, 2001. ISSN 0165-1889.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. **International Conference on Complex Systems**, 2004.

WEISS, G. **Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. MIT Press, 1999.

ZANDER, I. How do you mean global? An empirical investigation of innovation networks in the multinational corporation. **Research Policy**, v. 28, n. 2-3, p. 195-213, 1999. ISSN 0048-7333.