

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

Alexandre Rodriguez Alvez Coelho

**Modelo de Escolha Discreta Aplicado ao Perfil de
Aprendizado das Firms: Uma Abordagem Neo -
Schumpeteriana**

Florianópolis
2013

Alexandre Rodriguez Alves Coelho

**Modelo de Escolha Discreta Aplicado ao Perfil de
Aprendizado das Firmas: Uma abordagem Neo -
Schumpeteriana**

Dissertação apresentada em cumprimento às exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Felipe Bittencourt

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Coelho, Alexandre Rodriguez Alves
Modelo de Escolha Discreta Aplicada ao Perfil de
Aprendizado das Firms: : uma Abordagem Neo-
Schumpeteriana / Alexandre Rodriguez Alves Coelho ;
orientador, Pablo Felipe Bittencourt - Florianópolis, SC,
2013.
82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Sócio-Econômico. Programa de Pós-Graduação em
Economia.

Inclui referências

1. Economia. 2. Inovação. 3. Modelo computacional
baseado em agentes. 4. Abordagem evolucionária Neo-
Schumpeteriana. I. Bittencourt, Pablo Felipe. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Economia. III. Título.

Dedico este trabalho a família, amigos e namorada

“Stay hungry, stay foolish”.

Steve Jobs

Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos àqueles que com sua parcela de contribuição, direta ou indireta, contribuiu de forma inestimável para a realização deste trabalho.

Primeiramente eu gostaria de agradecer a minha família que com muito carinho e apoio não mediu esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. O apoio, motivação, ajuda financeira nos períodos de escassez e a presença nos momentos mais difíceis foi fundamental.

À minha amiga, namorada, amor de minha vida Camila Bastos que me acompanhou em toda minha jornada que mesmo distante, compartilhou comigo toda minha alegrias, angústias, dúvidas e escutou pacientemente ao telefone, minhas divagações sobre o trabalho.

Aos professores, Dr. Pablo Felipe Bittencourt e Dr. Jaylson Jair da Silveira que sem seus vastos conhecimentos sobre o tema, orientações, ponderações, correções e preocupações, tornaria o trabalho inviável.

Aos meus amigos de mestrado, meus alicerces em Florianópolis: Fernando, Thomas, Fernandas, Natália, Douglas, Carlo, Vanessa, Juliani, Felipe, Bruno, Bruno Baldez, que foram verdadeiro companheiros e tornaram essa jornada uma agradabilíssima experiência.

Um sincero agradecimento aos brilhantes Paulo Victor da Fonseca, Douglas Turatti e Helberte João França Almeida pela ajuda com o desenvolvimento do modelo. Sem esse auxílio o trabalho não seria finalizado.

Resumo

O objetivo da presente dissertação é criar um modelo que simula o comportamento estratégico das firmas. Esses agentes econômicos buscam adaptativamente a melhor combinação dos tipos de aprendizados, em um ambiente que coevolui com suas escolhas ao longo do tempo. Para isso, foi implementado um modelo computacional baseado em agentes de escolhas discretas que descreve a trajetória do comportamento privado das firmas em um ambiente altamente competitivo que interagem por meio de uma rede. O modelo proposto contempla as principais características da teoria evolucionária neo-schumpeteriana, tais como: a racionalidade limitada; agentes heterogêneos e as firmas como autônomas além de atribuir também a heterogeneidade entre os tipos de aprendizados. Os resultados obtidos da calibração dos parâmetros desse modelo permitiu estimar o valor do coeficiente de externalidade do setor de transformação e estimar o grau de incerteza procedural do setor.

Palavras-chave: Inovação, Modelo computacional baseado em agentes, Abordagem evolucionária Neo-schumpeteriana.

Abstract

The aim of the present dissertation is to create a model that simulates the strategical behavior of the firms. These economic agents adaptively look for better types of learning combinations over time, inserted in an environment that co-evolves with their choices along time. For such accomplishment, it was implemented a computational model based on agents with discreet choices, which describes the trajectory of the companies private behavior in a highly competitive environment, interacting between each other through a network. The proposed model contemplates the Neo-Schumpeterian evolutionary approach main technical features, such as the restricted rationality, the heterogeneous agents, the self-organizing firms and also explores the diversity between the learning types of innovation. The results obtained by the model's parameters calibration allowed an estimative for the transformation sector's externality coefficient and for its procedural uncertainty degree.

Key Words: Innovation, Agent-based computational models, Neo - Schumpeterian evolutionary approach.

Lista de Figuras

1.1	Indicadores de aprendizagem: características associadas	25
2.1	Custo médio por <i>learning</i>	35
3.1	Evolução das estratégias com parâmetros constantes e β igual a 1.	43
3.2	Evolução das estratégias com parâmetros constantes e β igual a 0.	44
3.3	Evolução das estratégias com variação em α e β igual a 0.	45
3.4	Evolução das estratégias com variação em $\delta = 100$ e β igual a 0.	46
3.5	Evolução das estratégias com variação em β igual a 50.	46
3.6	Evolução das estratégias com variação em $\alpha = 5$	48
3.7	Evolução das estratégias com variação em $\alpha = 50$	49
3.8	Evolução das estratégias com variação em $\delta = 5$ e $\theta = 5$	50
3.9	Resultado do modelo com os parâmetros calibrados	52
3.10	Proporção de firmas por tipo de <i>learning</i>	53

Sumário

Introdução	1
1 Referencial teórico: Fundamentação teórica evolucionária/Neoschumpeteriana	6
1.1 Teoria da firma	7
1.1.1 Teoria Neoclássica	7
1.1.2 Teoria Evolucionária da firma	9
1.2 Economia do aprendizado e Economia Baseada em Co- nhecimento	16
1.2.1 Economia do Aprendizado	16
1.2.2 Conhecimento	18
1.3 Construção dos indicadores do modelo	22
2 O processo de escolhas de perfis (combinações) de aprendi- zado como um jogo computacional em rede	26
2.1 Caracterização da tomada de decisão individual com campo de escolha finito e <i>payoff</i> aleatório	27
2.2 Caracterização da tomada de decisão individual com campo de escolha finito, <i>payoff</i> aleatório e externalidades de rede	31

2.2.1	O modelo de jogo computacional em rede proposto	32
2.2.2	Fundamentação do custos do modelo (PINTEC 2008)	34
2.2.3	Relação metodológica com a teoria evolucionária Neo-schumpeteriana.	35
3	Padrões de aprendizagem emergentes	39
3.1	Implementação Computacional	40
3.1.1	Teste de consistência do modelo	41
3.2	Calibração	50
3.3	Propriedades emergentes dos coeficientes calibrados no setor de transformação	53
	Considerações Finais	57
	Referências Bibliográficas	59

Introdução

Em diversos setores da economia, firmas competem entre si em busca de uma melhor posição de mercado e/ou obtenção de maior lucro. No jogo concorrencial há uma constante preocupação dos agentes com a resposta do mercado, o comportamento estratégico dos rivais e com o custo de produção. A transformação constante da estrutura produtiva, via inovação é resultado desse “jogo” e, segundo Schumpeter, representa aquilo que move a firma capitalista (SCHUMPETER 1982).

As inovações permitem mudanças estruturais no processo produtivo, possibilitando rentabilidades que se manifestam de diferentes formas, tais como melhor qualidade dos produtos, ampliação da quantidade produzida, redução dos custos operacionais, criação de um novo mercado e mudanças organizacionais e gerenciais. As modificações, alterações e inovações são o centro de um processo dinâmico endógeno de transformação das estruturas capitalistas. As novas estruturas substituem incessantemente as velhas num processo de destruição criadora (SCHUMPETER 1982).

A idéia fundamental de Schumpeter tem sido aprofundado pela escola Neo-Schumpeteriana. Assim, a mudança tecnológica tem sido tratada como um fenômeno interativo, que envolve a diversidade de

conhecimentos, a capacidade de absorvê-los e um conjunto variado de atores engajados (formal ou informalmente) em cada processo de inovação, NOTEBOOM (2000) e ZAHEER & BELL (2005). Baseado nisso, as empresas realizam esforços voltados às atividades inovativas – ao treinar seus trabalhadores, ao melhorar a infraestrutura tecnológica – laboratórios, equipamentos técnicos – ao destinar recursos permanentes para pesquisas e desenvolvimento (P&D) e ao manter e aprimorar as relações externas com clientes, fornecedores, universidades e institutos de pesquisas, entre outros.

Muitos economistas têm trabalhado sob a inspiração dos estudos de Schumpeter sobre o prisma das inovações tecnológicas como o parâmetro responsável pela geração dos ciclos econômicos. Desta maneira, por volta do fim de 1970, impulsionados por estudos de FREEMAN (1974), PAVITT (1984), NELSON & WINTER (1982) e DOSI & EGIDI (1991), entre outros "Neo-schumpeterianos", difundiu-se amplamente o emprego das idéias da biologia evolutiva para traçar a trajetória do desenvolvimento capitalista e, sobretudo, do processo de difusão tecnológica. Essa corrente defende que a inovação constitui o determinante fundamental da dinâmica econômica, sendo, ao mesmo tempo, fundamental para definir os padrões de competitividade econômica, em especial no atual quadro de aumento da competitividade regional e global.

Posteriormente, com base nas contribuições teóricas Neo - schumpeterianas, LUNDVALL (2004) valida o conhecimento e a aprendizagem como insumos essenciais para a inovação. Além disso, aprofunda e caracteriza os tipos de conhecimento e mostra como esse fator causa inovação e interfere no padrão de competitividade entre as firmas. Segundo o autor, o sistema econômico moderno é caracterizado pela rá-

pida mudança tecnológica, organizacional e do mercado, onde a força competitiva dos agentes depende da sua capacidade em aprender novas competências e esquecer as antigas. A economia moderna é uma economia do aprendizado, sendo o conhecimento o principal recurso e o aprendizado o processo mais importante (LUNDVALL 2004).

Deste modo, os Neo-schumpeterianos atuais, com base em indicadores tecnológicos, passaram a desenvolver modelos que buscam agregar os processos de difusão da tecnologia e do conhecimento, a racionalidade limitada, a capacidade de adaptação dos agentes e os processos de rotinas, de busca e de seleção.

Dado o elevado grau de complexidade atribuído à dinâmica da economia evolucionária, à incerteza envolvida, à heterogeneidade dos agentes e à natureza especial do conhecimento, o uso do modelo computacional baseado em agentes assume papel importante no auxílio à simulação do complexo comportamento dados as firmas DAVID (2006). O desenvolvimento desses modelos computacionais permitem verificar alguns fenômenos já estudados por Schumpeter, que não podiam ser modelados devido a impossibilidade, muitas vezes, de se realizarem cálculos fechados.

O objetivo do presente trabalho é analisar, sob a perspectiva teórica, a difusão de conhecimentos e aprendizados em um mercado competitivo dotado de heterogeneidade entre as firmas. Com base nisso, parte-se da hipótese teórica do agente ser um selecionador de aprendizados. Tal seleção ocorre por meio de suas rotinas e, nesse caso, é dada atenção especial às rotinas de busca e seleção, por serem aquelas que explicam melhor as transformações significativas de estratégias de aprendizado, como por meio da institucionalização de um laboratório de P&D, ou da contratação de serviços tecnológicos de centros

de pesquisa externos. O objetivo da firma em questão é utilizar-se de uma estratégia de aprendizado satisfatória aos seus objetivos de obter maior *payoff*. Adquirir novos conhecimentos, por meio de modificações nas combinações de aprendizagem, consiste em escolhas voltadas a tentativa de inovar, seja em produto, processo ou mesmo em formas organizacionais.

Com intuito de aproximar o modelo da realidade foram utilizados indicadores de dispêndios na atividade inovativa, retirados da Pesquisa brasileira de Inovação tecnológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PINTEC/IBGE, 2008), como destacaremos na seção implementação computacional. Por se tratar de um modelo com externalidade de rede, um importante resultado obtido pelo trabalho foi a estimação do parâmetro relacionado à externalidade.

A presente dissertação encontra-se estruturada em três capítulos além desta breve introdução. No primeiro capítulo é apresentado o referencial teórico, discorrendo sobre a teoria evolucionária da firma, o aprendizado e o conhecimento. Além disso, mostra-se a construção dos indicadores de aprendizados relacionados aos gastos em atividades inovativas. Por sua vez, o segundo capítulo traz o modelo computacional baseado em agentes de escolhas discretas proposto.

O terceiro capítulo apresenta a calibração do modelo e as propriedades dinâmicas emergentes do modelo calibrado. Na finalidade de testar a robustez do modelo, realiza-se alguns testes de consistência. Por fim, discorrem-se sobre as considerações finais e as limitações deste trabalho.

Objetivos

O objetivo central do presente trabalho é analisar a trajetória

da difusão de aprendizado levando em conta a natureza dos conhecimentos em um mercado competitivo. Para atingir esse objetivo geral, busca-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. Desenvolver, com base nos princípios Neo-schumpeterianos, um modelo computacional baseado em agentes de escolha discreta, com motivações sociais, para analisar, via simulações computacionais, a trajetória dos usos de aprendizados da interação estratégica entre as firmas evolucionárias no setor de transformação.
2. Mensurar, por meio da calibração do modelo desenvolvido, o parâmetro que mede o grau de sensibilidade da externalidade de rede do setor referido e também o parâmetro que mede a "incerteza processual" dos agentes (DOSI & EGIDI 1991).

Capítulo 1

Referencial teórico: Fundamentação teórica evolucionária/Neo- schumpeteriana

O presente capítulo tem como objetivo descrever a teoria econômica que motivou a criação do modelo de escolhas discretas a ser desenvolvido neste estudo. Assim, na subseção [1.1.1](#) apresenta-se a visão neoclássica da firma. Por sua vez, a visão alternativa proposta pela teoria evolucionária de firma é apresentada na subseção [1.1.2](#). Tal teoria traz a importância das rotinas, busca e seleção para entender o comportamento da firma. Por fim, a seção [1.3](#) apresenta os indicadores de aprendizados que as firmas podem adotar ao longo de sua trajetória.

1.1 Teoria da firma

Desde os estudos desenvolvidos por [MARSHALL \(1948\)](#), a teoria econômica passou a ter uma maior preocupação com o comportamento das firmas e, por isso, busca um modelo que tenha o objetivo de captar a lógica do seu comportamento. Determinar os objetivos centrais da firma, ou seja, a motivação de seu comportamento em um mercado, fez surgir um quadro analítico divergente entre os mais diversos paradigmas que estudam a firma. Segundo [TIGRE \(1998\)](#), essa multiplicidade das interpretações se dá por diferenças conceituais, metodológicas, ideológicas e também pela carência das análises empíricas.

Visualizar e pontuar a evolução da firma, nas diferentes teorias econômicas, é fundamental para que se possa conceituar a teoria da firma evolucionária utilizada no estudo.

1.1.1 Teoria Neoclássica

Apesar da teoria neoclássica ter pouca ligação com a realidade econômica atual, a facilidade de seu modelo teórico em explicar o funcionamento dos mercados e o fato desse modelo ser considerado “fechado” ainda é objeto de estudo na microeconomia nas mais diversas instituições de ensino. A teoria neoclássica, pioneira em abordar o papel da firma em uma economia, foi estabelecida com base nos princípios da teoria do equilíbrio geral de Leon Walras onde o preço e a remuneração dos fatores de produção como o salário são determinados pelo mercado, ou seja, fora do controle da firma. No equilíbrio geral walrasiano a noção de equilíbrio provem da intersecção entre a curva da oferta agregada e da demanda agregada nos mercados de bens e de fatores. Esse equilíbrio é garantido por um vetor de preços responsável pela igualdade.

Conforme [NELSON & WINTER \(1982\)](#), na teoria ortodoxa, as ações das firmas são vistas com base no conjunto de escolhas dadas as condições externas (mercados) e as internas (estoque de capital disponível). A partir disso, a firma se limita a esses tipos de restrições e cabe a ela cumprir um papel reduzido de coordenador de produção e seu comportamento está centrado na maximização (na sua maior parte, lucros).

[FREEMAN \(1993\)](#), após analisar historicamente e relacionar a teoria econô-

mica com inovação, explica que a negligência por parte dos ortodoxos, dado aos fatores tecnológicos, e conseqüentemente, a inovação se dá face à idéia da firma atuar como uma caixa-preta, que combina os fatores de produção, tendo em vista os produtos comercializáveis e maximização dos lucros. Sendo assim, o fator tecnologia estaria fora do raio de competência da firma, sendo razoável considerá-lo como exógeno ao sistema econômico, assumindo um papel restrito incorporado ao trabalho ou capital.

Nesse caso, temos a idéia de que a tecnologia, no modelo neoclássico, tem as mesmas propriedades de uma mercadoria, assumindo a lógica de que os novos incrementos advindos das instituições de P&D, por exemplo, seriam mercadorias a serem adquiridas pelas empresas. Estas, posteriormente ao cumprimento dessa transação, poderiam facilmente colocar esses bens em uso. No modelo neoclássico, as instituições de pesquisa seriam as ofertantes de tecnologia e a firma, a demanda pelo produto ofertado por essas instituições. No âmbito da política econômica, em função das implicações do modelo, incumbiria ao governo criar e promover uma estrutura de laboratórios de P&D que ofertassem novas tecnologias à estrutura produtiva, gerando avanços e desenvolvimento tecnológico na economia como um todo (VIOTTI 2003).

NELSON & WINTER (1982) observam que, dado os mais diversos fatos estilizados por meio das quais a firma é imposta pela ortodoxia econômica, a firma não só se constitui apenas na caixa-preta de FREEMAN (1993), como também uma caixa-preta onde os fluxos de insumo e produtos podem ser modificados conforme a conveniência e oportunidade do pesquisador, logo o modelo é moldado e manipulado para atingir resultados já predefinidos. As firmas no modelo ortodoxo tem racionalidade perfeita e na sua maior parte, não contam com assimetrias de informação ou previsão.

TIGRE (1998) afirma que a teoria neoclássica é paradoxal, pois, embora seja uma peça chave no modelo, ela não tem autonomia e nem uma dimensão correspondente (firma-ponto), cujas funções resumem-se em transformar insumos em produtos e maximizar o lucro, assumindo que suas escolhas são ótimas. Em suma, a teoria neoclássica tradicional (walrasiana) tem como principal preocupação explicar a formação de preços em uma economia cujos princípios se fundamentam na eficiência produtiva e na perfeita alocação de recursos por meio da otimização, que como consequência, impele a firma a uniformizar o seu comportamento, ao ponto de não ser dotada de objetivos e regras diferenciadas.

Além da maximização pelas firmas, outro pilar importante da teoria neoclás-

sica é o conceito de equilíbrio. O papel e a consequência das condições de equilíbrio é tirar conclusões quanto ao comportamento econômico como a determinação do preço e da quantidade produzida.

Um interessante contraponto vem de [SCHUMPETER \(1982\)](#). O autor enfatiza que o processo concorrencial das firmas é marcado por uma constante preocupação dos agentes com a resposta do mercado às suas ações, com o comportamento estratégico das rivais e com o custo de produção. Esse processo conduz a constantes transformações econômicas, cristalizadas na geração ininterrupta de inovação, as quais modificam o sistema constantemente, não havendo, necessariamente, um novo ponto de equilíbrio. O desenvolvimento, então, é entendido como um processo de destruição criadora. Em suas palavras:

”O capitalismo é, então, pela própria natureza, uma forma ou método de mudança econômica, e não apenas nunca está, mas nunca pode estar, estacionário. (...) A abertura de novos mercados (...) e o desenvolvimento organizacional (...) ilustram o mesmo processo de mutação industrial – se me permitem o uso do termo biológico – que incessantemente revoluciona a estrutura econômica a partir de dentro, incessantemente destruindo a velha, incessantemente criando uma nova. Esse processo de destruição criadora é o fato essencial acerca do capitalismo.” ([SCHUMPETER \(1984\)](#)112-3)

Seguindo essa linha de pensamento, conclui-se de Schumpeter que o constante desequilíbrio gerado pela inovação tecnológica é o fator que move a economia. Resgatando essas idéias, principalmente sobre a sua teoria dos ciclos longos aliada à visão de competição, surge a teoria evolucionária da firma a qual busca aprofundar aspectos do comportamento das mesmas, capazes de explicar a mudança econômica a partir de preceitos negligenciados pela teoria neoclássica.

1.1.2 Teoria Evolucionária da firma

Seguindo as principais idéias de Schumpeter sobre a dinâmica da inovação e da concorrência, os Neo-schumpeterianos, em especial [NELSON & WINTER \(1982\)](#), [FREEMAN \(1974\)](#) e [PAVITT \(1984\)](#), avançaram na perspectiva evolucionária da análise microeconômica.

Pode-se dizer que a origem da teoria evolucionária da firma foi motivada pelo surgimento de duas frentes de estudo não rivais e complementares: Por um lado, [FREEMAN \(1974\)](#) resgatou e atualizou as idéias de Schumpeter, incorporando em seus estudos a hipótese teórica de que o progresso técnico é o núcleo do comportamento evolucionário da firma e do mercado. Assim, o processo de difusão tecnológica é tratado como tema central ([TIGRE 1998](#)). Desta forma, a explicação da teoria ortodoxa que busca explicar a tecnologia como exógena ao modelo se tornou inconsistente para explicar o entendimento abrangente do sistema econômico.

Por outro lado, [NELSON & WINTER \(1982\)](#) amparados principalmente pelas idéias de Simon e Schumpeter, somadas às idéias desenvolvidas na biologia evolucionária, não só refutam a teoria ortodoxa em várias perspectivas, por exemplo, o comportamento individual padrão das firmas e o equilíbrio de mercado, como também explicam a importância e necessidade de uma teoria evolucionária para a construção de uma nova teoria da firma. Após a contribuição dos dois autores foi observado um crescente aumento de contribuições na corrente Neo-schumpeteriana.

Deste modo, surge a necessidade de buscar uma nova fonte científica para teorizar sobre o comportamento dos agentes econômicos. As tentativas de incorporar idéias evolucionista da Biologia na teoria econômica já podiam ser vistas desde os estudos de Marshall. [NELSON & WINTER \(1982\)](#) afirmam que o verdadeiro interesse de [MARSHALL \(1948\)](#) é a dinâmica evolucionária. O autor de *Principles of Economics* vai se basear em uma mecânica econômica para os seus conceitos de equilíbrio parcial, idéia ortodoxa estática, entretanto, deixando claro que “a meca da economia está mais na biologia econômica do que na mecânica econômica” ([MARSHALL \(1948\)](#) apud. [NELSON & WINTER \(1982\)](#)). Sua opção pelo foco em elementos da física não reside, portanto, em uma preferência “superior”, mas no fato desta opção esbarrar nas limitações instrumentais da época como, por exemplo, a falta de computadores para as simulações.

[NELSON \(1995\)](#) revela que a preocupação central da teoria evolucionária diz respeito aos processos dinâmicos que determinam conjuntamente os padrões de comportamento da firma e os resultados finais gerado pela evolução do mercado ao longo do tempo. Por conseguinte, os estudos evolucionários são usados pelos economistas com a finalidade de descrever modificações na estrutura tecnológica ou industrial, ao longo do tempo, e também de classificá-las e compará-las quanto ao grau de desenvolvimento como, por exemplo, indústrias imaturas ou desenvolvidas, maduras. Essa análise tem importância no sentido de comparar distintas organizações. Na maioria das vezes, dadas as condições iniciais, o resultado pode ser fora

do controle dos “*policy makers*”. Nos modelos evolucionários as firmas podem se adaptar, aprender e evoluir em relação ao meio no qual estão inseridos.

Em cada período de tempo, as firmas devem procurar a melhor escolha e ser recompensadas por ela e não assumir simplesmente que a melhor escolha já foi encontrada. Essa foi uma crítica de NELSON (1995) à teoria do equilíbrio proposto pelos neoclássicos. Além disso, o autor diz que o comportamento maximizador tradicional não explicaria satisfatoriamente como as firmas se comportariam em um meio diverso e incerto no qual as condições mudam periodicamente (instabilidade estrutural).

Em suma, as teorias evolucionárias Neo-schumpeterianas giram em torno das seguintes premissas básicas: a) a dinâmica no modelo deve-se as inovações, sendo elas de produto ou processo; b) os agentes decidem sob racionalidade limitada, processual, resultante de um meio dotado de incerteza; c) os agentes são heterogêneos no que se diz respeito ao conhecimento, tecnologia empregada e a estratégia de inovação para mudanças.

No modelo evolucionário da firma, mudanças tecnológicas não só levam a um aumento na produção das firmas, mas também têm efeitos significativos na forma que o mercado e a indústria evoluem ao longo do tempo. A relação invenção-inovação-difusão de Schumpeter indica que o processo de inovação tem uma estrutura que deve ser levado em conta. Decisões de investimentos em projetos de inovação não são feitos uma única vez e para todos, mas sim, continuamente atualizado tempo a tempo (DAWID 2006) .

De um modo geral, as ações dos agentes econômicos que operam em um ambiente influenciado por inovações estão submetidos a uma forte incerteza (DOSI & EGIDI 1991). Assim, é de certa forma impossível prever e antecipar perfeitamente todas as direções possíveis de um futuro desenvolvimento tecnológico, pelo fato do agente não ter nem conhecimento de todos os possíveis estados futuros do mundo, nem as estratégias adotadas pelos outros agentes, o que caracteriza uma incerteza sobre a reação do mercado. "A incerteza em torno da inovação significa que entre as possibilidades de investimento alternativos projetos de inovação são extraordinariamente dependentes de espíritos animais"(FREEMAN & SOETE 1997, p.251). DOSI & EGIDI (1991) definem esse tipo de incerteza como “incerteza processual” o qual está relacionado a incapacidade da firma em encontrar uma solução ótima para a resolução de um problema.

A idéia de incerteza do modelo está em conformidade com os pressupostos de racionalidade de SIMON (1978), SIMON (1987), em que a compreensão de que

os comportamentos do processo decisório são compatíveis com a limitação racional, pois: a) há incerteza envolvida na tomada de decisão dos agentes e incapacidade prática de haver conhecimento pleno de todos os processos de decisão do mercado; b) os agentes tem objetivos múltiplos, que podem muitas vezes ser conflituosos; c) como as alternativas de escolha para atingir esses objetivos não são dadas *à priori*, o tomador de decisão precisa adotar um processo para gerar alternativas; d) há diferença entre a aprendizagem e a aplicação, que faz com que o conhecimento sobre determinada ação seja fragmentária; e) a antecipação de decisões têm um caráter imperfeito.

Teóricos evolucionistas criticam o comportamento pré-moldado das firmas pela racionalidade plena. Acreditam que as firmas estão em constante adaptação, pois sua racionalidade deve ser resultante do processo de aprendizado ao longo das interações com o mercado e novas tecnologias. DOSI (1982) denomina “diversidade comportamental” as diferenças de estratégias de inovação, precificação, P&D, investimentos e assim por diante. Na área de inovação, por exemplo, DOSI (1982) percebeu uma grande amplitude estratégica relacionada entre realizar ou não P&D. Cada estratégia tem seu prêmio e sua punição.

As situações de equilíbrio da ortodoxia ocorreriam, portanto, graças a racionalidade plena, onde a dinâmica econômica resume-se a passagens de um ponto de equilíbrio para outro. Com o surgimento da racionalidade processual faz se necessário, então, estudar a totalidade do processo, onde "pontos de equilíbrio" podem até existir, mas será uma particularidade do funcionamento geral do sistema e não sua razão de ser. Por ser, doravante, um sistema "em movimento" e, portanto, em desequilíbrio, a análise assume uma outra dimensão (NELSON & WINTER 1982).

Finalmente, o estudo do processo inovativo requer particular consideração sobre a heterogeneidade entre firmas em um mercado. Heterogeneidade das firmas é uma condição necessária para que se possa ocorrer um processo inovativo. Como afirmado anteriormente, o ponto central da inovação para as firmas é se distinguir dos demais competidores, de acordo com a técnica de produção ou linha de produtos em busca, na sua maior parte, de uma melhor posição de mercado e/ou atingir maior lucro, resultando, na heterogeneidade entre elas. Em suma, os incentivos da firma em inovar dependem da heterogeneidade entre as firmas e essa propriedade é importante para qualquer interação de mercado.

POSSAS (2008) descreve a evolução das firmas, análoga aos componentes evolucionários de NELSON & WINTER (1982), da seguinte forma: “Em resumo, os organismos individuais (fenótipos) correspondem às firmas; populações aos mer-

cados (indústrias e arranjos produtivos locais); genes (genótipos) às rotinas (regras de decisão) ou formas organizacionais; mutações às inovações (em sentido amplo, schumpeteriano); e lucratividade à aptidão (fitness).”, observando-se que o comportamento das firmas se dá através dos processos de rotina, busca e seleção.

As rotinas são definidas por [NELSON & WINTER \(1982\)](#), como um padrão de solução repetitivo para problemas semelhantes, o conjunto de técnicas e processos organizacionais incorporadas em pessoas ou organizações que caracterizam os modos através dos quais as mercadorias e serviços são produzidos, desde as atividades habituais até as inovativas. As rotinas de uma empresa exercem função análoga ao dos genes na biologia, elas são os repositórios conhecimento (capacitações) das firmas. Em outras palavras, firmas armazenam e processam conhecimentos, por meio de suas rotinas e aprendizado, os quais são as fontes de solução para uma variável quantidade e complexidade informacional relacionada a cada problema.

O conhecimento organizacional armazenado nas rotinas explicam as diferenças e variedade das firmas. Desta forma, as habilidades dos diversos indivíduos que fazem parte da firmas, por serem marcadas por conhecimentos codificáveis e tácitos (de difícil ou impossível reprodução), combinadas ao formato com que as relações entre esses indivíduos ocorrem (organização) e a forma como são recebidas e processadas as informações do ambiente externo configuram a “memorial organizacional” particular de cada firma.

Note-se que a memória organizacional explicada pelas habilidades construídas e acumuladas pelos agentes destacam o elemento de path depende das mesmas. Por essa razão, as rotinas passadas ajudam a explicar o presente e futuro, o que não significa que não haverá mutação, mas que ela é restrita pelo formato das rotinas. As rotinas, ao agirem como forma de reter os conhecimentos e habilidades dos indivíduos e da firma, serão mantidas enquanto forem práticas suficientes lucrativas, caso contrário será iniciada uma busca por novas rotinas.

A busca por novas rotinas está conectada ao princípio de variações ou mutações. Segundo [POSSAS \(2008\)](#), as mutações correspondem, a grosso modo, às inovações e não são feitas de maneira aleatória, já que há dependência do passado por parte das firmas. [ROSEMBERG \(1990\)](#) associa o processo de busca às atividades inovativas onde o resultado a ser obtido não é conhecido. A busca vai compreender a avaliação das rotinas correntes e as atividades que podem induzir a mutação destas. O processo de busca é que permite as transformações de trajetória nos modelos evolucionários. [DOSI \(1982\)](#) afirma que o processo de busca está condicionado aos limites do raio de observação dos agentes, logo, há restrições na

interpretação e solução dos problemas e o processo de busca é associada à incerteza do modelo.

NELSON & WINTER (1982) relacionam as atividades de busca ao comportamento heurístico das firmas, isto é, “qualquer princípio ou instrumento que contribui para a redução da busca média da solução dos problemas de sobrevivência e lucratividade”. Boas partes da discussão das heurísticas está associada aos conceitos de “estratégias corporativas”. Nesse contexto, os processos de busca por novas rotinas estariam associados a três diferentes formas: ao controle da nova rotina, a um processo de cópia e a um processo de imitação. Em qualquer caso haverá mudança na rotina, pois mesmo, (como será visto a seguir) no caso de cópia, as habilidades indissociáveis não poderiam ser totalmente “carregadas” para uma nova rotina, já que a mutação gera um novo indivíduo com características distintas o que contribui para o aumento da heterogeneidade das firmas.

Dadas as rotinas já existentes e o ambiente mutante em que elas operam, entende-se a todo o tempo que a firma está pressionada a se envolver na decisão de promover mudanças em suas rotinas. A dificuldade de controlar uma nova rotina seria explicada por três etapas: (i) selecionar as alternativas disponíveis compatíveis com a rotina, o que seria mais difícil segundo o preço e a dificuldade de determinar as características específicas do insumo. Pode-se aceitar facilmente que não seria elementar definir (e encontrar) as habilidades de um conjunto de especialistas em P&D capazes de conduzir a transformação da rotina da firma.

A segunda etapa seria a necessidade de (ii) modificar os insumos para adequá-los às rotinas, o que consiste, em nosso exemplo, em ensinar os princípios dos novos funcionários (os especialistas em P&D) aos supervisores, aos outros membros do departamento de P&D, aos engenheiros, que de alguma forma possam participar de forças tarefas, e mesmo para operários da produção, por serem capazes de alimentar com informações e conhecimentos relevantes o processo de mutação da rotina; haveria ainda a etapa de (iii), monitorar, o processo de organização para identificar o trabalhador ocioso e ao identificá-los retomar as atividades de seleção ou modificação.

De acordo com **NELSON & WINTER (1982)** as consequências de falhas de controle vão desde o fechamento da unidade por alguns dias até a necessidade de jogar lotes de produção fora. Portanto, se esse formato informa sobre algo mais próximo da realidade sobre como se dá o processo de mudança na firma, comparativamente aos modelos ortodoxos, não há muitas razões para crer num processo de busca pelo controle da nova rotina que conduza a características próximas da

homogeneização das firmas.

O axioma fundamental ortodoxo da aditividade diz que qualquer padrão viável de atividade produtiva pode ser copiado sem erros. De fato, ainda que, de maneira realista essa proposição tenha poucas chances de ser concretamente verificada, o que importa é em que medida ela representa algo útil para a interpretação da realidade econômica.

Desse ponto de vista, a diferença entre os modelos evolucionários e ortodoxos reside nas considerações de custos associadas a cópia e não em se ela pode ou não ocorrer. Isso porque, os obstáculos à cópia envolvem custos diferentes e não negligenciáveis. Entre eles, a transferência de conhecimentos tácitos construídos na organização antiga, a incapacidade de ensinar habilidades menos tácitas dos trabalhadores destinados a ensinar suas habilidades (uma vez que fazer é uma coisa e ensinar é outra); a disposição de cooperar dos membros dotados de certas habilidades e ainda as relações pessoais que explicam a estabilidade das relações organizacionais. Por essas e outras razões, o modelo fornecido para a cópia da rotina pode não gerar uma boa cópia.

Considerando essas razões, a hipótese mais plausível é a de que os processos de cópia resultem em mutações da rotina, a medida que essa for transferida para a nova fábrica. Essas mutações de rotina estariam reveladas, por exemplo, no fato de firmas multinacionais operarem com distintos modelos organizacionais em diferentes países. Não é difícil conceber a idéia de que a FIAT do Brasil não opera como a FIAT da Itália, ou como a dos Estados Unidos, ainda que esse possa ser um anelo da matriz.

Do ponto de vista pragmático da construção dos modelos evolucionários, nos termos de [NELSON & WINTER \(1982\)](#), esse pressuposto "se refere ao que pode ser alcançado partindo do status quo de uma rotina em funcionamento, enquanto a teoria ortodoxa de longo prazo, ao qual se relaciona o axioma da aditividade, não tem nenhuma noção de status quo" (Nelson e Winter, p.180-1).

Seguindo [NELSON & WINTER \(1982\)](#) entende-se que a imitação de uma rotina distingue-se da rotina de cópia, uma vez que para ela não estaria disponível um modelo em nenhum sentido relevante. Não havendo forma de observar a rotina-meta, os problemas específicos que forem surgindo durante o processo de tentativa de imitação gerarão uma modificação na rotina, o que se torna mais realístico uma vez que o imitador não está preocupado com a imitação em si, mas com o sucesso econômico da mesma.

Sob esse critério as variações podem ser muitas, indo desde casos em que

rumores sobre como será o próximo produto seja capaz de gerar uma rotina meta imitadora, até casos em que o conhecimento a ser imitado é tão idiossincrático e tácito que mesmo a cópia pode ser extremamente problemática, que dirá a imitação.

O terceiro conceito fundamental é a seleção. Rejeitando a idéia ortodoxa de que as firmas que não se adaptam segundo o comportamento maximizador de lucros via otimização são eliminadas do mercado a corrente evolucionária propõe a pluralidade dos ambientes de seleção (TIGRE 1998). Enquanto os mecanismos de buscas como a adaptação e descoberta geram variedade, o processo de seleção está associado às relações dos agentes com o ambiente, ou seja, as interações coletivas e os mercados operam como mecanismos de seleção, gerando níveis diversificados de crescimento entre os diferentes agentes, logo o processo de seleção é desempenhado pelo mercado.

1.2 Economia do aprendizado e Economia Baseada em Conhecimento

Embora NELSON & WINTER (1982) não tenham discutido com detalhes o processo de aprendizado e conhecimento das firmas - aspecto fundamental para que se entenda a difusão de inovações - sua idéia de busca heurística e processo de mudança abriram precedentes para que outros autores pudessem desenvolver a noção de aprendizado na economia e trazer um conjunto de novos conceitos como Economia Baseada em Conhecimento (EBC), Economia do Aprendizado e Sistema Nacional de Inovação.

1.2.1 Economia do Aprendizado

POSSAS (2008) afirma que o processo econômico de mutação derivado do processo de busca das firmas evolucionárias estão relacionados ao esforço adaptativo persistente perante os sinais que o setor provê. Isso reflete a necessidade dos agentes constantemente atuarem com esforços de aprendizado, os quais podem ser realizado intra ou extra-muros da firma.

Essa noção abriu uma perspectiva ampla para a análise da geração de inovações como derivadas de processos específicos de aprendizagem. MALERBA (1992)

define aprendizado como um custoso e direcionado processo que acontece na firma onde de modo geral é visto, como um processo, através do qual as firmas ampliam sua base de conhecimentos (rotinas), que relacionam a fontes de informação e conhecimento internas (P&D, informações do chão de fábrica, esforços de treinamento) com externas a firma (interação com universidades, centros de pesquisa, fornecedores, clientes, empresa de consultoria, entre outros).

Como destaca BITTENCOURT (2012), na noção evolucionária da dinâmica de produção, os custos de aprendizagem, derivados especialmente das rotinas de busca, representam elementos centrais da diferenciação da empresa de seus concorrentes. O acúmulo específico de conhecimentos a isso associados, os quais como lembram, incentivados pela concorrência, ajudam a explicar os elevados graus de heterogeneidade entre as firmas, mesmo às partes de uma indústria. Apesar do grau de heterogeneidade não se pode enfraquecer a importância que as rotinas têm no processo inovativo porque apesar da particularidade nos processos de cada firma podem-se tirar regularidades dos fatores que determinam seu comportamento, como por exemplo, o payoff público e privado.

Fontes internas de aprendizados estão relacionadas à produção, pesquisa e desenvolvimento, marketing, difusão de informações e experiências, mobilidade de trabalhadores especializados e crescimento de serviços especializados. Fontes externas de aprendizado podem ser obtidas por meio de outras firmas que estão na indústria, como exemplo, fornecedores, usuários ou novos avanços em ciência e tecnologia. Assim como a diversidade do estoque de conhecimento, o processo de aprendizado tem uma grande variedade e grande complexidade. Uma das formas de capturar a diversidade dos aprendizados é estabelecer uma taxonomia onde os aprendizados são agrupados de acordo com algumas características. Os aprendizados (learnings) são classificados da seguinte forma por (MALERBA 1992):

- a) *Learning by doing*: interna a firma, informal e relacionada à atividade produtiva;
- b) *Learning by using*: interno a firma e relacionado aos uso de insumos, produtos e máquinas;
- c) *Learning in advanced SET*: externo a firma e relacionado à absorção de novos desenvolvimentos em ciência e tecnologia (C&T);
- d) *Learning from inter-industry spillovers*: externo a firma e está relacionado com as concorrências entre firmas e indústrias (relacionamento horizontal).
- e) *Learning by interacting* – relação externa e vertical das firmas, ou seja, determinado pelas relações com clientes, fornecedores de bens de capital e o restante da indústria.

f) *Learning by searching* – interno à empresa, estaria vinculado às atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) direcionado ao objetivo a busca de novos conhecimentos.

Os tipos de aprendizados não são mutuamente excludentes podendo ser combinados dependendo da conveniência e oportunidade das firmas. A atividade de pesquisa e desenvolvimento, por exemplo, na etapa de experimentação necessita do aprendizado tipo *learning by doing*. A combinação entre as várias formas de aprendizados das firmas resultam em um aceleração da capacidade de reconhecimento do valor das informações externas e internas fruto da interação com o ambiente e, além disso, assimilá-las e traduzi-las para máquinas, equipamentos, materiais, componentes e produtos (BITTENCOURT 2012). Todavia, esta combinação de aprendizados pode ser muito custosa e está associada há uma grande incerteza, isto é, os grandes esforços de aprendizado traduzidos nos gastos das atividades inovativas não provocam necessariamente em inovação de processo e produtos, logo, dado o meio incerto que a firma está inserida, iniciar novos esforços de aprendizagem e inovação ou não, representa um dilema constante.

O presente estudo parte da hipótese teórica da firma ser um selecionador de aprendizados. Tal seleção ocorre por meio de suas rotinas e, nesse caso, damos especial atenção às rotinas de busca e seleção por serem aquelas que explicam melhor as transformações significativas de estratégias de aprendizado, como, por meio da institucionalização de um laboratório de P&D, ou a contratação de serviços tecnológicos de centros de pesquisa externos. O objetivo da firma em questão é utilizar-se de uma estratégia de aprendizado satisfatória a seus objetivos de lucrar ou obter maior market share. Adquirir novos conhecimentos, por meio de modificações nas combinações de aprendizagem configuram escolhas voltadas a tentativa de inovar, seja em produto, processo ou mesmo de forma organizacional.

1.2.2 Conhecimento

De acordo com LUNDVALL (2004) é relevante entender algumas questões sobre o aprendizado como, por exemplo, o tipo de conhecimento pelo qual ele está relacionado. Para que se possa entender o efeito de externalidade gerado pelo aprendizado gera é essencial que seja estudada a natureza dos conhecimentos. O autor considera que o conhecimento é o elemento chave para o crescimento e desenvolvimento econômico.

LUNDVALL (2004) destaca que esse elemento tem especial relevância no contexto recente, marcado pela aceleração do uso de tecnologias da informação e comunicação nos processos de produção. A partir disso, os desenvolvimentos da economia contemporânea estariam, portanto, diretamente relacionados ao conhecimento. Assim, o crescimento de empresas, regiões e países estariam em grande medida sendo explicados por sua capacidade de adquirir, adaptar, transformar e aplicar conhecimentos em seus processos de produção.

O sucesso das atividades das firmas não dependem somente do seu investimento corrente, mas também da base de conhecimento acumulado ao longo do tempo. O estoque de conhecimento não é uniforme e contém uma grande quantidade de estrutura (DAWID 2006).

A partir disso, uma das distinções que deve ser feita a respeito da natureza do conhecimento é se ela é codificado (explícita) ou tácito que permite classificar esses conhecimentos como gerais ou habilidades específicas. Para JOHNSON et al. (2002) o código é descrito como dados estruturados que é necessário instrução para seu processo e um tipo de conhecimento reduzido por representações simbólicas. Assim, para o mesmo autor, codificação é descrito como um processo que transforma o conhecimento em um formato que possa ser possível que ele seja estocado ou transferido como informação. JENSEN et al. (2007) afirma que para tornar o conhecimento explícito é necessário "anotá-lo" Esse conhecimento codificado pode ser passado para outros agentes e ser absorvido por eles caso exista a compreensão da linguagem utilizada.

Apesar do compartilhamento do conhecimento codificado aparentemente ser amplo, ele também pode ser um instrumento excludente para outros agentes. É usual o uso de um código não usual que tenha a intensão de excluir outros agentes econômicos e torná-la informação confidencial. Conhecimento tácito está relacionado aquele conhecimento adquirido através da experiência acumulada do agente, ou seja, é pessoal, específico ao contexto e difícil de formalizar e comunicar. É um conhecimento implícito que está relacionado a habilidades e competência.

Há uma vasta literatura sobre a variedade dos conhecimentos. Por exemplo, LEVIN (1988), GRILICHES (1992), GEROSKI (1996) abordaram a importância do spillover tecnológico gerado através da difusão de conhecimento entre as firmas e os clientes. COHEN & LEVINTHAL (1989) analisaram empiricamente, a importância dos investimentos de P&D das firmas para absorção de conhecimento. ROSEMBERG (1990) argumenta que a pesquisa básica é essencial para absorção de conhecimento gerado externamente.

A partir disso, para facilitar as análises empíricas, LUNDVALL & JOHNSON (1994) propõem uma classificação desse conhecimento em quatro tipos fundamentais. Essa taxonomia distingue o tipo de conhecimento gerado pelo processo de aprendizado e é geralmente a mais usada (LUNDVALL & JOHNSON 1994):

- a) *Know-what*: É o tipo de conhecimento que mais se aproxima da idéia de informação. Trata-se de fatos, por exemplo, quantas pessoas vivem no Brasil, pode estar relacionado ao banco de dados
- b) *Know-why*: Estão relacionados aos princípios e leis do movimento da natureza, a mente humana e a sociedade. Esse tipo de conhecimento é de grande importância para o desenvolvimento tecnológico principalmente em setores mais baseados na ciência como exemplo o setor químico e o elétrico.
- c) *Know-how*: Está relacionado com as habilidades. NELSON & WINTER (1982) definem habilidade como análoga às rotinas das organizações. É obtido através do aprendizado entre o mestre-aprendiz através da linguagem falada e corporal ou habilidades dos trabalhadores adquiridos pela experiência adquirida com o tempo. Segundo BITTENCOURT (2012) este tipo de conhecimento é desenvolvido de forma privada pela firma individual e está relacionado aos experimentos e pesquisas próprios.
- d) *Know-who*: Envolve as informações do tipo “quem sabe o que” e “quem sabe o que fazer”. Essas duas informações estão relacionadas à habilidade de se comunicar e cooperar com outros agentes.

LUNDVALL (2004) faz a distinção desses tipos de conhecimentos entre público e privado. Se o conhecimento é público e todas as firmas tiverem acesso a ele, não é vantajoso para que o agente privado invista em sua produção. É menos custoso para o agente simplesmente copiar esse conhecimento do que produzir um novo conhecimento. Caso o retorno social seja maior que o retorno privado, as firmas serão estimuladas em não investir no conhecimento público. ARROW (1962) mostrou que nessas situações há atuação direta do governo na produção de conhecimento como, por exemplo, o investimento nas escolas e universidades, assim como em tecnologias genéricas, e também a proteção do conhecimento pelos sistemas de patentes.

Essas duas questões aparentemente contrastantes entre compartilhar ou proteger o conhecimento levantam as mesmas questões fundamentais para um formador de políticas públicas. LUNDVALL (2004) diz que se o conhecimento público, é mais vantajoso o governo concentrar os investimentos na produção de conhecimentos que geram externalidades globais. Por sua vez, caso o conhecimento for privado é interes-

sante que a responsabilidade de produção do conhecimento seja atribuída somente às firmas.

O acesso ao conhecimento do tipo *know-what* está relacionado aos bancos de dados. Os avanços da tecnologia de informação, como a internet aumentou consideravelmente o acesso a esse tipo de conhecimento, mas ainda estão longe da perfeição. Até hoje a maior fonte de informação é adquirida por meio do *know-who*. Trabalhos científicos levam a produção de modelos teóricos que geram conhecimento do tipo *know-why* e alguns desses trabalhos são de domínio público. A publicação acadêmica, por exemplo, tende a ser um bem parcialmente excludente e não rival, porque o pesquisador geralmente tem incentivos em deixar os resultados acessíveis, porém entender sua metodologia requer perícia técnica (LUNDVALL 2004).

Para aumentar a base de conhecimentos do tipo *know-why* é comum observar empiricamente grandes corporações investindo em universidades e contribuindo para a pesquisa básica delas. COHEN & LEVINTHAL (1989) afirmam que para ganhar acesso ao conhecimento do tipo científico, elas devem investir em P&D e ciência. O autor complementa que há muito menos *spillover* livres disponíveis do que a teoria econômica diz ter, portanto, para ter ganhos sociais a firma deve aplicar o seu esforço de aprendizado tanto nas fontes internas e externas de P&D.

Os autores estão ressaltando aqui a noção de capacidade de absorção, fundamental para a compreensão dos processos de aprendizado e de apropriação de conhecimentos “públicos”. O argumento reside na constatação empírica de que para ter acesso a conhecimentos gerados fora da empresa, essa precisa ter construído capacidade de absorvê-lo.

No trabalho de COHEN & LEVINTHAL (1989), os autores destacam o caráter dual da P&D associado não apenas a geração direta de conhecimentos potencialmente traduzíveis em inovações, mas também por seu aspecto de construção de conhecimentos que tornam possível a empresa entender o que acontece nos centros de pesquisa avançado, e com isso, passar a ter a alternativa de utilizar (escolher) os conhecimentos das universidades em suas combinações de aprendizado.

Esse elemento está considerado no modelo proposto neste estudo por meio da idéia de que, empresas que utilizam estratégias de aprendizado via P&D possuem maior propensão de usarem as universidades como fonte de informação (aprendizado via fontes avançadas de C&T).

1.3 Construção dos indicadores do modelo

A presente seção tem por objetivo apresentar os quatros tipos de aprendizados utilizados neste estudo. Ressalta-se que os aprendizados a ser usado pelas firmas é uma adaptação ao estudo de BITTENCOURT (2012). Neste estudo, o autor extraiu indicadores de aprendizados com base nos gastos em atividades inovativas para avaliar o desenvolvimento de produtos e processos . Portanto, os aprendizados obtidos na PINTEC e utilizados neste estudo são:

- a) *Learning by search*: interna a firma
- b) *Learning by other internal sources*: informal e relacionada à atividade produtiva;;
- c) *Learning in advanced S&T*: externo a firma e relacionado à absorção de novos desenvolvimentos em ciência e tecnologia (C&T);
- d) *Learning by external sources*: externo a firma e está relacionado com a absorção concorrências entre firmas e indústrias (relacionamento horizontal).

O primeiro aprendizado está relacionado às *atividades internas de pesquisa em P&D*. Compreende o trabalho criativo, empreendido de maneira sistemática, com o propósito de aumentar o acervo de conhecimentos da empresa. Esse tipo de aprendizado leva a um aumento no estoque de conhecimento do tipo *know-why* que está relacionado ao conhecimento codificado, ou seja, há um custo para decifrá-lo, porém é mais transacionável.

Segundo JENSEN et al. (2007), os cientistas que trabalham em P&D usam conhecimento tácito ao fazer experimentos e interpretar os resultados. No entanto, o conhecimento dominante no departamento é a resolução de problemas codificados que não podem ser resolvidos pela memória do cientista adquirida ao longo do tempo. O gasto em P&D é visto por diversas pesquisas, como uma aproximação do esforço inovativo das empresas.

O segundo aprendizado compreende o *learning by doing* e *using*. Estes conhecimentos estão relacionados ao conhecimento tácito, isto é, relacionado com as habilidades e produz o tipo do conhecimento *know-how*. Os conhecimentos *learning by doing* e *using* são mais prático do que teórico. As atividades inovativas da PINTEC associadas a esse tipo de aprendizado é *"treinamento"* e *"projeto industrial e outras preparações técnicas"*

O terceiro aprendizado está associado a atividade de *"aquisição de P&D por outras fontes externas"*. Este conhecimento pode ser adquirido através da aquisição de serviços de terceiros, ou seja, empresas/instituições que realizam para a

empresa as mesmas atividades relacionadas acima como de P&D. O indicador de “C&T avançada”, que teoricamente corresponde ao *learning from advanced SET*, procura captar a aprendizagem derivada das interações das empresas com a estrutura de ciência e tecnologia avançada. As universidades, institutos de pesquisa e as conferências e publicações especializadas são consideradas as fontes para as idéias, enquanto os gastos para a realização de tais ocorrem na aquisição externa de P&D de outras organizações, instituições ou empresas (BITTENCOURT 2012). Assim como o *learning by search*, o *learning from advanced SET* é conhecimento codificado.

Finalmente, o último aprendizado, *Learning by external sources*, está associado às aquisições externas de tecnologia como no caso, acesso a patentes, know-how, serviço de consultoria ou pagamento de royalties e outros serviços. O conhecimento adquirido é previamente desenvolvido ao contrário do P&D. As atividades inovativas associadas a esse aprendizado são: *Aquisição externa de outros conhecimentos; aquisição de software; e introdução das inovações tecnológicas no mercado.*

Essas características dos processos de aprendizado das firmas estão sempre condicionadas às características dos ambientes em que operam. A busca de informações fora da empresa, por exemplo, está condicionada a capacidade construída da empresa em relação ao tipo de conhecimento que busca.

É importante salientar que o trabalho usa como indicador de aprendizagem os esforços inovativos destinados a inovação de produtos. Com base nisso, parte-se da hipótese que a *aquisição de máquinas e equipamentos* é destinado exclusivamente a inovação de processos.

A breve descrição realizada acima do formato da realização das interações entre universidades e empresas para o desenvolvimento tecnológico no contexto atual, podem ser generalizadas para diversas outras formas de interação que explicam os investimento nos processos de aprendizado. Isso significa, que há especificidade nas interações e que uma mudança de estratégia tecnológica de uma empresa pode ter intrínseca o custo de adaptação de seu fornecedor ou clientes a nova estratégia.

Ressalta-se que a criação de capacitações traduzidos nos quatro tipos de aprendizados acima citados, resultam dos processos de aprendizagem realizados pela empresa e respondem as características dos Sistemas Nacionais de Inovação. O elemento a ser considerado, sobre esse aspecto é que:

”sometimes learning is used to refer mainly to passive adaptation to changing circumstances. We see the creation of capabilities in firms and

the formation of competences among people as important outcomes of processes of learning.”(Lundvall, et.al. 2009).

Essa concepção das capacidades e da aprendizagem é marcada pela compreensão do autor sobre a inovação como fruto de um processo sistêmico, que têm no território nacional um importante condicionante às tomadas de decisão das firmas. Os conhecimentos e competências encontram nos sistemas nacionais de inovação características específicas que ajudam a explicar o formato do padrão de aprendizado e de inovação que emergirá das empresas inseridas nesse território.

Com base nesse processo sistêmico, as atividades inovativas são etapas científicas, tecnológicas, organizacionais e investimentos no aprendizado com o objetivo de ampliar sua base de conhecimento tendo como foco o desenvolvimento de produtos e processos. É por meio dessas atividades inovativas que se podem mensurar os esforços das firmas em "adquirir" o tipo de aprendizado.

O indicador observado no modelo para calcular o *payoff* privado é o dispendio destinado a essas atividades inovativas, associada a cada um dos tipos de aprendizado. É importante ressaltar que cada firma tem uma variada base de conhecimentos acumulada período após período, logo podemos afirmar sem perda de generalidade, que a firma pode combinar mais de um tipo de aprendizado a cada período. A combinação de cada tipo de conhecimento e a forte heterogeneidade dos agentes criam um elevado grau de complexidade ao modelar o comportamento de cada firma no cenário econômico.

Segundo NELSON & WINTER (1982), O processo decisório de cada empresa é influenciado pelas formas de organização e processamento interno de suas atividades, ou melhor, por suas rotinas. Assim, assume-se que a mudança de estratégias, ou seja, de combinações de aprendizado, custam mais do que manter-se na mesma estratégia. No entanto, a mudança seria motivada pela percepção dos agentes sobre os benefícios futuros associados aos novos custos. Tal comportamento que deriva da tentativa de mudança da rotina, reflete um processo de busca por melhores soluções que inclui aquilo que está sendo realizado por outros agentes como motivador.

Como destaca BITTENCOURT (2012), os custos de aprendizagem estão associados a processos de busca capazes de diferenciar a empresa de seus concorrentes e essa diferenciação vai ser observada a cada período. Outro fator importante é que devido as incertezas quanto há concretização dos gastos das atividades inovativas em aprendizagem e assimetrias na escolha dos agentes há também um componente estocástico na firma sendo estas consideradas como suas características idiossincráticas.

A Figura 1.1 resume a taxonomia proposta para os indicadores.

Variáveis de Pórcen utilizadas para a formação dos indicadores		Indicadores de aprendizagem					
		1. P & D interno	2. Fazendo	3. Treinamento	4. C & T avançada	5. Fornecedores	6. Clientes
Fontes	Fontes internas dos setores com	Internas de P & D	Outras fontes internas	Centros de capacitação	Universidades	Fornecedores	Clientes
		-	-	-	Institutos de pesquisa ou centros tecnológicos	-	-
		learning by search	learning by internal sources	learning by other internal sources	learning by advanced R&D	learning by other external sources	learning by other external sources
		P & D interno formal	Projetos industriais e outras preparações técnicas	Treinamento	Aquisição de outros conhecimentos externos	-	Introdução da inovação no mercado
Características dos indicadores							
Localização da fonte do conhecimento		Interna à empresa			Externa à empresa		
Principal característica do conhecimento envolvido		Codificado	Tácito	Tácito	Codificado	Tácito	Tácito

Figura 1.1: Indicadores de aprendizagem: características associadas

Capítulo 2

O processo de escolhas de perfis (combinações) de aprendizado como um jogo computacional em rede

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a estrutura do modelo de escolha discreta em rede que será utilizado para representar o processo de interação estratégica entre as firmas que buscam adaptativamente a melhor combinação de tipos de aprendizado em um ambiente que coevolui com suas escolhas ao longo do tempo. Para tanto, a seção 2.1 mostra os conceitos da teoria da escolha discreta que fundamentam a construção do referido modelo. Em seguida, na seção 2.2 será apresentado um modelo de tomada de decisão individual com campo de escolha finito sujeito à externalidades de redes. Finalmente, na seção 2.2.1, usando a estrutura formal apresentada na seção 2.2, especifica-se os componentes da função *payoff*, estabelecendo, dessa forma, o modelo computacional baseado em agentes de

seleção de perfis de aprendizado, cujas propriedades emergentes serão analisadas via simulações computacionais.

2.1 Caracterização da tomada de decisão individual com campo de escolha finito e *payoff* aleatório

Em cada período de tempo $t \in \{0, 1, 2\}$, as firmas inseridas em um dado contexto estratégico (uma economia ou um, subconjunto próprio de setores desta) poderá escolher um determinado perfil de *tipos de aprendizado*. Mais precisamente, consideraremos quatro tipos de aprendizado: *1-learning by search*, *2-learning by other internal sources*, *3-learning by advanced S&T* e *4-learning by other external sources*. Assim, um *perfil de aprendizado* de uma firma i no período t pode ser representado pelo seguinte vetor:

$$L_i(t) = (\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4), \quad (2.1)$$

no qual ℓ_j é uma variável binária, ou seja, $\ell_j \in \{0, 1\}$ para todo $j = 1, 2, 3, 4$. Se $\ell_j = 0$, isto indica que a firma não utilizou o tipo de aprendizado j no período em questão. Por sua vez, $\ell_j = 1$ indica que a firma utilizou este tipo de aprendizado. Por exemplo, se no período t a firma i apresenta o perfil de aprendizado $L_i(t) = (0, 1, 0, 1)$, isto significa que a firma utilizou os tipos de aprendizado 1 e 3.

Como há, por hipótese, quatro tipos de aprendizado, em um determinado período, cada firma poderá escolher um entre $2^4 = 16$ perfis de aprendizado possíveis. Dado que cada perfil de aprendizado é uma sequência de dígitos 0 e 1, cada perfil corresponde a um número binário. Logo, podemos associar um número de base decimal a cada um dos 16 perfis de aprendizado. Por exemplo, o perfil $(0, 1, 0, 1)$ corresponderá ao número inteiro $5 = 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$. Por sua vez, o perfil de aprendizado $(0, 0, 0, 0)$, que representa o caso em que nenhum dos tipos de aprendizado é utilizado pela firma, corresponderá ao número inteiro $0 = 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$, enquanto o perfil de aprendizado $(1, 1, 1, 1)$, que representa o extremos oposto, corresponderá ao número inteiro

$15 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$.¹ Generalizando, o perfil de aprendizado (2.1) será identificado pelo número inteiro:

$$\sigma_i = \ell_1 \times 2^3 + \ell_2 \times 2^2 + \ell_3 \times 2^1 + \ell_4 \times 2^0. \quad (2.2)$$

Em suma, uma firma i ao escolher um perfil de aprendizado L_i , estará escolhendo a alternativa σ_i do campo de escolha $S = \{0,1,2,\dots,15\}$. Como há uma relação biunívoca entre L_i e σ_i , daqui em diante nos referiremos a σ_i tanto como alternativa quanto como perfil de aprendizado.

Como destaca TRAIN (2003), as preferências (e, portanto, a função *payoff*² que as representa) dependem de *motivações observáveis* da alternativa σ_i , que podem ser atributos observáveis da própria alternativa, bem como do tomador de decisão. No presente contexto, um atributo observável importante do perfil de aprendizado σ_i é o custo associado a este. Além destas motivações, existem ainda as *motivações não observáveis*, oriundas das características idiossincráticas das firmas. Este tipo de motivações tornam a decisão de cada firma um fenômeno estocástico do ponto de vista de um observador, que pode ser, por exemplo, um pesquisador ou um formulador de políticas.

Seguindo a literatura de modelos de escolhas discretas (cf. TRAIN (2003)), suporemos que as escolhas de cada firma ao longo do tempo são, pelo menos do ponto de vista do observador, um fenômeno estocástico, sendo feita com base na seguinte função *payoff* aditiva:

$$\pi(\sigma_i) = \pi^d(\sigma_i) + \varepsilon(\sigma_i), \quad (2.3)$$

na qual $\pi^d(\sigma_i)$ representa o componente determinístico do *payoff*, associado às motivações observáveis, e $\varepsilon(\sigma_i)$ o componente aleatório, associado às motivações não observáveis.

Definidos o campo de escolha e a função *payoff* da firma, podemos tratar da sua tomada de decisão propriamente dita. Supondo-se que a firma i é uma maximizadora de *payoff*, a alternativa $\sigma_i \in S$ será escolhida pela firma i se

$$\pi(\sigma_i) \geq \pi(\sigma'_i), \forall \sigma'_i \in S. \quad (2.4)$$

¹Quanto maior o número inteiro associado a um perfil de aprendizado, maior será o número de tipos de aprendizado utilizado pela firma.

²Aqui sinônimo do termo função utilidade.

Usando-se (2.3), o critério de escolha (2.4) pode ser reescrito como segue:

$$\pi^d(\sigma_i) - \pi^d(\sigma'_i) \geq \varepsilon(\sigma'_i) - \varepsilon(\sigma_i), \forall \sigma'_i \in S. \quad (2.5)$$

Em outros termos, a alternativa σ_i será escolhida pela i -ésima firma caso o benefício líquido da parcela observável da função *payoff* relacionada a esta escolha, dado por $\pi^d(\sigma_i) - \pi^d(\sigma'_i)$, compense os benefícios líquidos não observados que a firma associa às demais alternativas $\sigma'_i \in S$.

Segundo esta análise, mesmo que o componente observado do *payoff*³ de um perfil de aprendizado σ_i seja maior que os componentes observáveis dos demais perfis de aprendizados, não segue necessariamente que o perfil de aprendizado σ_i será escolhido pela i -ésima firma. Isto pode ocorrer caso um dos incentivos não observáveis de pelo menos um dos demais perfis alcance patamares suficientemente elevados, de maneira que o torne mais atrativo do que o perfil de aprendizado σ_i . Logo, dado o componente aleatório presente na decisão da i -ésima firma, um observador pode estabelecer apenas a probabilidade com que esta firma escolhe o tipo de aprendizado $\sigma_i \in S$. Esta probabilidade, dadas as desigualdades (2.4) e (2.5), pode ser expressa como segue:

$$\begin{aligned} Prob(\sigma_i) &= Prob\left(\pi(\sigma_i) \geq \pi(\sigma'_i) \quad \forall \sigma'_i\right), \\ &= Prob\left(\varepsilon(\sigma'_i) - \varepsilon(\sigma_i) \leq \pi^d(\sigma_i) - \pi^d(\sigma'_i) \quad \forall \sigma'_i\right), \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} I[\varepsilon(\sigma'_i) - \varepsilon(\sigma_i) \leq \mathcal{U}^d(\sigma_i) - \pi^d(\sigma'_i) \quad \forall \sigma'_i] f(\vec{\varepsilon}_i) d\vec{\varepsilon}_i, \end{aligned} \quad (2.6)$$

sendo $f(\vec{\varepsilon}_i)$ a função densidade de probabilidade conjunta do vetor de variáveis aleatórias $\vec{\varepsilon}_i = (\varepsilon(\sigma_i = 0), \varepsilon(\sigma_i = 1), \dots, \varepsilon(\sigma_i = 15))$ e $I[\cdot]$ uma função indicadora, igual a 1 se a desigualdade entre colchetes for verdadeira e zero caso contrário.

A função (2.6) é uma função de distribuição acumulada do componente aleatório da função utilidade (2.3). Como destacado anteriormente, esta função não indica, *a priori*, qual será efetivamente a escolha assumida pela firma em um dado momento, mas somente a sua *propensão à escolha da estratégia* $\sigma_i \in S$. Todavia, pode-se afirmar que a propensão à escolha da estratégia σ_i torna-se maior a medida que o diferencial dos incentivos observados a favor desta alternativa aumenta. Logo, as motivações não observáveis de caráter idiossincrático tendem a perder importância quanto maior for este diferencial observado.

³Expressa como função de atributos observáveis.

Como destaca TRAIN (2003), diferentes modelos de escolha discreta são gerados a partir de distintas especificações de $f(\tilde{\varepsilon}_i)$. Segundo este autor, a especificação mais simples e amplamente usada é aquela que desemboca no conhecido modelo *logit*.

Este modelo é derivado supondo-se que os componentes aleatórios da função *payoff* (2.3) associados às alternativas em S são variáveis aleatórias *independentes* e com a mesma *distribuição de probabilidades de valores extremos*, cuja função densidade de probabilidades para cada componente aleatório $\varepsilon(\sigma_i)$ é uma distribuição do tipo Gumbel (ou de valor extremo tipo I), dada por:⁴

$$f(\varepsilon(\sigma_i)) = \beta e^{-\beta\varepsilon(\sigma_i)} e^{-e^{-\beta\varepsilon(\sigma_i)}}, \quad (2.7)$$

sendo $\beta > 0$ uma constante real.

A função de distribuição acumulada associada à função (2.7) é dada por:

$$F(\varepsilon(\sigma_i)) = e^{-e^{-\beta\varepsilon(\sigma_i)}}. \quad (2.8)$$

Com base em (2.7) e (2.8), a integral (2.6) torna-se a conhecida função de distribuição acumulada logística:⁵

$$Prob(\sigma_i) = \frac{e^{\beta\pi^d(\sigma_i)}}{\sum_{\sigma'_i \in S} e^{\beta\pi^d(\sigma'_i)}} = \frac{1}{\sum_{\sigma'_i \in S} e^{-\beta[\pi^d(\sigma_i) - \pi^d(\sigma'_i)]}}. \quad (2.9)$$

Adaptando ao presente contexto de escolha de perfis de aprendizado a interpretação do parâmetro β apresentada por FREITAS (2003). Quanto menor for o valor assumido pelo referido parâmetro, *ceteris paribus*, maior será o peso dos incentivos não observáveis na propensão à escolha do perfil de aprendizado σ_i adotado pela firma, ou seja, mais incerta será a escolha da firma i do ponto de vista do observador. Mais formalmente, quando $\beta \rightarrow 0$ ter-se-á $Prob(\sigma_i) \rightarrow \frac{1}{16}$, ou seja, as escolhas tendem a se tornar equiprováveis, independentemente dos valores observados do componente determinístico do *payoff*. Analogamente, *ceteris paribus*, quando $\beta \rightarrow \infty$ ter-se-á $Prob(\sigma_i) \rightarrow 1$ caso $\pi^d(\sigma_i) > \pi^d(\sigma'_i), \forall \sigma'_i \neq \sigma_i$, ou seja, a alternativa que apresentar o maior valor do componente determinístico do *payoff* será quase certamente a alternativa escolhida caso β torne-se suficientemente grande.

⁴De fato, TRAIN (2003) toma $\beta = 1$. Na presente dissertação não se utilizará esta normalização, trabalhando-se com um $\beta > 0$ qualquer.

⁵Detalhes dos cálculos são encontrados no capítulo 3 de TRAIN (2003).

2.2 Caracterização da tomada de decisão individual com campo de escolha finito, *payoff* aleatório e externalidades de rede

A seção anterior focou a escolha individual de uma firma i sem levar em consideração, explicitamente, o efeito desta decisão sobre as decisões das demais firmas inseridas no mesmo ambiente estratégico e sujeitas ao mesmo campo de escolha da firma i . Em outros termos, a estrutura de interação entre as firmas, que pode gerar externalidades de rede, não foi explicitamente formalizada.

Como será visto na seção 2.2.1, analisaremos um jogo repetido de escolha de tipos de aprendizado de F firmas inseridas em um determinado ambiente estratégico. As externalidades de rede resultarão das decisões das F firmas, que tomam suas decisões simultaneamente⁶ a cada período.

DURLAUF (1977) e BROCK & DURLAUF (2001) propõem o uso de modelos da Mecânica Estatística como estrutura analítica para análise de fenômenos socioeconômicos nos quais a estrutura de interação é julgada ser um determinante relevante do fenômeno econômico em análise. Estes autores exemplificam este uso com modelo de escolha binária, mostrando a analogia com o conhecido *modelo de Ising* da Física Estatística. Propõe-se aqui uma adaptação análoga, a saber, a utilização da estrutura formal do *modelo de Potts* da Física Estatística, que é uma generalização do modelo de Ising para um número finito qualquer de estados de um *spin*, o equivalente a uma firma no presente contexto econômico.⁷

Seguindo DURLAUF (1977) e BROCK & DURLAUF (2001), acrescentar-se-á um terceiro componente à função *payoff* (2.3), com o intuito de formalizar o princípio de que em um determinado ambiente de interação estratégica cada agente busca se adaptar levando em consideração o comportamento em sua *vizinhança social*. A vizinhança da firma i , daqui em diante denotada por n_i , pode ser definida como o conjunto de firmas cujas escolhas são monitoradas pela i -ésima firma e que, portanto, influenciam de alguma forma a tomada de decisão da firma i .⁸

Com a inclusão de efeitos de vizinhança, ou seja, de externalidades de rede, as

⁶Ou seja, cada firma toma sua decisão sem conhecer as decisões dos demais.

⁷Uma apresentação didática do modelo de Potts é encontrada em Meyer, (2000).

⁸A vizinhança social de um agente tipicamente é um subconjunto próprio da população (interação local), embora possa ser a população como um todo (interação global).

escolhas de cada uma das F firmas passam a ser afetadas por motivações sociais, ou seja, pelas escolhas dos seus vizinhos. Assim, em termos do modelo de escolha discreta exposto na seção 2.1, podemos afirmar que a proposta de DURLAUF (1977) é de acrescentar externalidades de rede como um incentivo observável, levando à seguinte decomposição do componente determinístico do *payoff*:

$$\pi^d(\sigma_i) = \alpha \pi^p(\sigma_i) + \delta \pi^s(\sigma_i, \vec{\sigma}_i^e), \quad (2.10)$$

sendo $\alpha > 0$ uma constante paramétrica que mede o peso relativo do componente privado determinístico do *payoff* $\pi^p(\cdot)$, que representa todos os incentivos observáveis (exceto as externalidades de rede), com relação ao componente social determinístico $\pi^s(\cdot)$, que representa o efeito das externalidades de rede. O grau de sensibilidade da externalidade que corresponde ao componente social determinístico do *payoff* $\pi^s(\cdot)$ é dado pelo parâmetro $\delta > 0$ e está relacionada aos efeitos causados pelo uso do aprendizado associadas às atividades inovativas via pesquisa e desenvolvimento interna ou externa. Cabe salientar que $\pi^s(\cdot)$ é função não só da escolha da firma i em si, mas também das escolhas que esta firma espera que seus vizinhos fação, representadas pelo vetor $\vec{\sigma}_i^e \equiv \{\sigma_j^e\}_{j \in n_i}$, com $\sigma_j^e \in S$.

Inserindo (2.10) em (2.3), obtemos a nova expressão para o *payoff* da firma i associado ao perfil de aprendizado σ_i :

$$\pi(\sigma_i) = \alpha \pi^p(\sigma_i) + \delta \pi^s(\vec{\sigma}_i) + \varepsilon(\sigma_i). \quad (2.11)$$

A partir desta nova função *payoff* e utilizando-se de um argumentação análoga aquela desenvolvida na seção 2.1, chegamos à propensão à escolha do perfil de aprendizado σ_i , dada em (2.9), na qual $\pi^d(\cdot)$ é dada por (2.10).

A próxima seção estabelece as formas funcionais das funções $\pi^p(\cdot)$ e $\pi^s(\cdot)$ da função *payoff*, obtendo assim o modelo de jogo computacional a ser analisado via simulações computacionais no próximo capítulo.

2.2.1 O modelo de jogo computacional em rede proposto

Considerar-se-á um sistema produtivo com F firmas. Obviamente, um determinante relevante da escolha do perfil de aprendizado pela firma i é o custo monetário privado associado a cada alternativa $\sigma_i \in S$. Seja $c_j > 0$ o custo que uma firma

qualquer incorrerá pelo uso do *learning* $j = 1, 2, 3, 4$. Logo, o custo associado a um perfil de aprendizado qualquer $(\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4)$ é simplesmente a soma dos custos dos tipos de *learning* utilizados, ou seja, $\sum_{j=1}^4 \ell_j c_j$. Além destes custos, outro efeito são as fontes de conhecimento internas das firmas. Mais precisamente, quando uma firma usa o ℓ_1 -*learning by search* em conjunto com o ℓ_3 -*learning from advanced S&T* ou com o ℓ_4 -*learning by other external sources* ocorre uma redução dos custos de uso destes *learnings*.

A literatura tem dado especial atenção às atividades de P&D, desde o artigo seminal de COHEN & LEVINTHAL (1989) que observa o seu caráter duplo (dual effect), associados a geração de conhecimentos diretamente aplicáveis a produtos e processos, como ao aumento da capacidade de compreensão e absorção de conhecimentos gerados por potenciais parceiros tecnológicos externos, como universidades, centros de pesquisa *learning by S&T* ℓ_3 , fornecedores e clientes (*learning by other external sources* ℓ_4).

Existe, portanto, uma relação entre aumento do uso de fontes internas (*learning by search* ℓ_1) e aumento da capacidade de absorver conhecimentos gerados externamente, (clientes, competidores, ciência e tecnologia). A facilidade de absorção resulta em uma redução dos dispêndios da firma nas atividades inovativas. Estes efeitos podem ser formalizados com base na seguinte função custo ajustado do perfil de aprendizado σ_i :

$$c(\sigma_i) = \frac{1}{1 + \ell_1 \ell_3 + \ell_1 \ell_4} \left(\sum_{j=1}^4 \ell_j c_j \right). \quad (2.12)$$

Assim, o componente privado determinístico do *payoff* da firma i pode ser posto como uma função sigmóide estritamente decrescente do custo ajustado, a saber:

$$\pi^P(\sigma_i) = e^{-\frac{1}{\gamma} c(\sigma_i)}, \quad (2.13)$$

na qual $\gamma > 0$ é uma constante paramétrica que representa a sensibilidade do componente privado determinístico do *payoff* com relação ao custo ajustado do perfil de aprendizado σ_i escolhida pela i -ésima firma.

Como já posto, o componente determinístico do *payoff* da i -ésima firma não depende exclusivamente do custo privado associado ao perfil de aprendizado escolhido, conforme especificado em (2.2), mas também das externalidades geradas pelas escolhas das demais firmas.

Como abordado na revisão literária, firmas que realizam o learning 1 e 3 de-

envolvem externalidade positiva para as demais empresas. No entanto, tal externalidade é local, ou seja, somente empresas que já desenvolvem este tipo de learning e que estejam perto de firmas que desenvolvem learning 1 e 3 são beneficiadas. Assim o seguinte índice de externalidade é definido:

$$soma(i) = f_1 + f_3 + 2.f_{13} \quad (2.14)$$

na qual f_1 é o número de firmas vizinhas a firma i que apresentam um perfil de aprendizado tal que $\ell_1 = 1$ e $\ell_3 = 0$, seguindo a mesma lógica, f_3 é a quantidade de firmas vizinhas que apresentam um perfil de aprendizado tal que $\ell_1 = 0$ e $\ell_3 = 1$ e as firmas f_{13} são o número de firmas vizinhas a i cujo perfil dos esforços de aprendizado tal que, $\ell_1 = 1$ e $\ell_3 = 1$. Portanto, caso uma empresa desenvolva o learning 1, 3 ou 1 e 3, ela irá verificar quais vizinhos, num raio de 2, utilizam os perfis de aprendizado 1 e 3, caso esta condição seja satisfeita, ela soma 1 para cada learning 1 e 3 encontrado, como a empresa terá no máximo 4 vizinhos, pois o raio é 2, o valor máximo que soma poderá alcançar será oito.

Com base em (2.14), pode-se estabelecer o componente social determinístico do *payoff* como uma função sigmóide estritamente crescente do índice de externalidade:

$$\pi^s(\sigma_i) = \frac{1}{1 + e^{-\theta soma(i)}}, \quad (2.15)$$

na qual $\theta > 0$ é uma constante paramétrica.

2.2.2 Fundamentação do custos do modelo (PINTEC 2008)

Conforme observado na seção anterior, a variável que explica o componente privado determinístico do payoff da firma é o custo ajustado. Os valores desses custos forma extraídos das informações dos dispêndios na atividade inovativa, retirados do setor de transformação da Pesquisa Brasileira de Inovação tecnológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PINTEC/IBGE, 2008).

O custo médio c_j utilizado em (2.12) deriva da divisão entre o dispêndio total realizado pelas firmas inovadoras em cada atividade inovativa (associadas a um tipo de learning conforme especificado em (2.1)), e o número de firmas que desempenham as atividades inovativas, logo:

$$c_j = \frac{\text{dispêndio total das firmas para cada } \ell_j}{\text{numero total de firmas que usam } \ell_j}, \quad (2.16)$$

Learning by search		Custo médio por learning											
		Learning by internal sources				Learning by advanced		Learning by other external sources					
Atividades internas de Pesquisa e Desenvolvimento		Treinamento		Projeto industrial e outras preparações técnicas		Aquisição externa de Pesquisa e desenvolvimento		Aquisição externa de outros conhecimentos		Aquisição de software		Introdução das inovações tecnológicas no mercado	
Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)	Número de empresas	Valor (1000R\$)
4754	13 229 008	11704	917613	9959	3921741	1404	1751469	3640	1181272	8250	1105534	10825	3014053
Custo médio (L1)		Custo médio (L2)		Custo médio (L3)		Custo médio (L3)		Custo médio (L3)		Custo médio (L3)		Custo médio (L3)	
2552		223		1248		1248		1248		233		233	

Figura 2.1: Custo médio por *learning*

para $j = 1, 2, 3, 4$. Calculando (2.16) com base nos dados empíricos temos o custo médio de associado a cada tipo de learning.

A Figura 2.1 apresenta os custos de cada perfil de aprendizado, bem como o número total de empresas que adotam cada perfil, obtidos na PINTEC para o ano de 2008. Com base nestas informações é possível calcular o custo médio de cada perfil de aprendizado.

Definidos os valores de c_j para cada ℓ_j , o próximo passo é o calcular o custo $\sum_{j=1}^4 \ell_j c_j$. Por exemplo, suponha que no período t a firma i apresenta o perfil de aprendizado $L_i(t) = (1, 1, 0, 1)$. Isto significa que a firma utilizou os tipos de aprendizado ℓ_1 , ℓ_3 e ℓ_4 e seu perfil será $\sigma_i = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 13$. O custo da firma i será composto por $c_1 + c_3 + c_4$. Desta forma, sua função custo ajustado do perfil de aprendizado de acordo com (2.12) será igual a $c(\sigma_i = 13) = \frac{1}{1+(1*1+1*1)} (1 * c_4 + 1 * C_3 + 0 * C_2 + 1 * C_1)$.

2.2.3 Relação metodológica com a teoria evolucionária Neo-schumpeteriana.

O modelo proposto é formado por uma numerosa quantidade de agentes heterogêneos que escolhem simultaneamente a sua combinação de tipos de aprendizado, logo as suas decisões de dispêndios em projetos de inovação são continuamente atualizados tempo a tempo. A diversificação do comportamento entre os agentes no modelo é baseado em um processo de busca por perfis de aprendizado, gerado de forma endógena a partir de uma dinâmica que se baseia na mudança contínua e na competição, sem que ocorra um equilíbrio estático. Essas características estão de acordo com pressupostos da abordagem evolucionária Neo-schumpeteriana NELSON & WINTER (1982)

. O processo de seleção dos perfis de aprendizado no ambiente econômico é

o que dá dinâmica à escolha das estratégias das firmas e esse processo das firmas do modelo contém um grau de incerteza que faz com que cada agente tenha uma seleção autônoma. No entanto, os agentes estão interligados e tal condição permite que os agentes se adaptem conforme as interações com o mercado.

As respostas formadas pela interação entre as decisões estratégicas dos agentes e o ambiente de mercado tem como resultado uma dinâmica industrial endógena. Segundo [POSSAS et al. \(2001\)](#), na literatura Neo-schumpeteriana há um grande acervo de trabalhos que buscam explicar a trajetória tecnológica das firmas de longo prazo em particular quanto suas fontes de instabilidade e de regularidade.

Inovações são resultados da combinação de conhecimentos novos. [DOSI \(1982\)](#) destaca essa combinação como reflexo de busca por solução de problemas que demandam conhecimentos derivados, por vezes, das experiências passadas e por vezes de conhecimentos formalizados (em especial daqueles gerados pelas ciências naturais) . Os processos de aprendizagem que emergem dessa busca são definidos pelo uso de uma ou mais fontes de informação e conhecimentos , as quais podem ser internas ou externas às empresas. Por envolver custos, o engajamento das empresas em processos de busca por inovações ocorre apenas caso essas visualizem oportunidades ainda não-exploradas .

Conforme [DAWID \(2006\)](#), o sucesso de uma atividade inovativa não depende somente do seu gasto corrente, mas também da quantidade de conhecimento acumulado e da estrutura (tipo) de conhecimento. A modelagem dinâmica do estoque de conhecimento é complexo, uma vez que ele não é uniforme e possui uma grande quantidade de estrutura que não pode ser simplesmente tratado como capital. No modelo proposto, o acúmulo de conhecimento é considerado um efeito implícito ao modelo, isto é, a medida que há o processo de aprendizagem dos agentes, assume-se automaticamente que eles estão acumulando e combinando novos conhecimentos ao longo do tempo.

Apesar dessa simplificação, o modelo explora explicitamente a questão da estrutura heterogênea dos tipos de conhecimentos. A ideia chave no modelo para a mensuração da capacidade de absorção de P&D é oferecido por [COHEN & LEVINTHAL \(1989\)](#) ao mencionarem que a capacidade da firma para explorar conhecimentos externos é muitas vezes um subproduto de seus esforços internos de P&D. O modelo assume que em (2.12) há uma redução dos custos quando há uma combinação entre o *learning by search* e *learning by advanced SET* e *learning by other external sources*. Ademais, o aumento da proporção de firmas que usam o *learning by search* e *learning by advanced SET* traz um aumento do *payoff* social

de outras firmas, o que explicaria/geraria propensão das outras firmas adotarem estes aprendizados, via: (i) o uso do próprio *learning by search* por outras firmas, em virtude de aumento de indivíduos capacitados para atuarem em atividades de P&D (note a externalidade), (ii) aumento do uso do *learning by advanced S&T*, pois os indivíduos voltados a atividades de P&D (by search) tem a capacidade de absorção dos conhecimentos codificados gerados nas universidades (segunda externalidade, associada ao by search) . Pesquisas também apontam que o uso da P&D amplia a capacidade de absorver outros conhecimentos externos de (iii) clientes (em inovações de produto), de (iv) fornecedores (em inovações de processo), mas também de (iv) competidores, via tecnologia de reverso, especialmente em casos em que os processos de aprendizagem que geram inovações de ruptura.

Como são as inovações de maior impacto que levam a maior lucro, as outras empresas tenderiam também a perceber as vantagens e, havendo mais mão-de-obra especializada disponível, tenderiam/poderiam utilizá-las. A articulação entre o aprendizado externo e direto derivado da multiplicidade dos conhecimentos e da combinação entre elas, resulta em um aumento da velocidade da capacidade de absorção das firmas. Assume-se que esse aumento impacta positivamente na redução dos custos.

No que se refere ao uso das formas externas de *learning*, o elemento mais interessante da teoria Neo schumpeteriana/evolucionária refere-se à organização da atividade inovativa de cada firma em redes de aprendizado. Segundo LUNDVALL (2004), as relações de redes tendem a se reforçar, por atributos relacionados ao benefício mútuo percebido durante o processo de inovação, mas também com a realização de um objetivo determinado. A rede implementada no modelo na seção (2.2.1) deriva da noção de que gastos em atividades inovativas que estimulam P&D ampliam a “conectividade” das firmas com fontes externas de conhecimento como, por exemplo, as que são adquiridas nas universidades (ℓ_3) é amplamente difundida na literatura (FREEMAN (1991); CHESBROUGH & TEECE (1996); e JENSEN et al. (2007), ZAHRA & GEORGE (2002).

BRITTO (2001) ressalta que a literatura sobre o conceito de “redes de firmas” tem como uma das principais propriedades a circulação e criação de conhecimentos que resultam no *processo de aprendizado coletivo* . Em suma, as firmas que estão conectadas por uma rede, tem a tendência de reforçar a cooperação tecnológica com outros agentes e chegar a um processo de aprendizado comum.

TIGRE (1998) chama esse tipo de rede de “alianças estratégicas”, estas são resultados da necessidade de complementação de competências nas áreas de P&D,

produção e vendas e geram externalidades pelas firmas que compartilham atividades de P&D semelhantes. Essas alianças são viabilizadas por conta de redes eletrônicas e impulsionado pela rápido crescimento das inovações e competição em nível global. Na economia moderna esse tipo de rede vem desempenhando papel importante, sendo possível verificar empiricamente um crescimento exponencial nas alianças estratégicas entre empresas líderes em todo o mundo.

Além da relação entre competidores, as interações de rede permitem o surgimento de outro tipo externalidades de rede para as firmas. Assim, a capacidade de absorção dos agentes que gastam em pesquisa e desenvolvimento do conhecimento adquirido das universidades é geralmente de proporção global, ou seja, há uma maior capacidade de ser absorvido pela sociedade.

Outra implicação importante da rede é que esta permite que o modelo inclua a assimetria de informação entre os agentes. O sentido de *vizinhança* da rede implementada no modelo não é interpretada como uma proximidade física dos agentes e sim como aquela que têm informações sobre o que emerge dos parceiros de rede quanto a alta importância das fontes ligadas ao departamento de P&D de outras empresas. O parâmetro δ em 2.10 tem importância no sentido de captar o valor dessa externalidade, pois o componente determinístico social depende diretamente da rede.

Capítulo 3

Padrões de aprendizagem emergentes

No presente capítulo analisa-se via simulações computacionais, padrões de aprendizagem gerados pelo processo evolucionário do jogo computacional apresentado anteriormente. Para tanto, elabora-se um modelo em rede no qual a escolha dos aprendizados dos agentes é dado por incentivos privados e sociais.

A seção 3.1 apresenta a implementação computacional do modelo proposto. Em seguida, visando avaliar a consistência do modelo, realiza-se alguns experimentos nos parâmetros, por meio de variações nos parâmetros que medem o *payoff* privado e social.

A seção 3.2 apresenta as regras e características que balizaram a calibração do modelo. O objetivo desta é tornar o modelo mais próximo da realidade e para isto, utiliza-se de dados da PINTEC 2008 para o setor de transformação. Por fim, a seção 3.3 apresenta as propriedades emergentes do modelo computacional calibrado.

3.1 Implementação Computacional

O sistema econômico a ser analisado neste trabalho é formado por firmas e as mesmas encontram-se inseridas numa rede quadrada com lado igual a 40, $L = 40$, de tal modo que o tamanho da população é dado por L^2 , isto é, ter-se-á 1600 agentes no modelo. Ademais, o raio de vizinhança do modelo é igual a 2, assim, a firma possui a informação de qual aprendizado os seus 2 vizinhos no sentido horário e dois vizinhos anti-horário estão utilizando em cada passo da simulação. Como forma de implementar o modelo proposto nas seções anteriores, as simulações foram realizadas utilizando-se o software *Matlab*.

Em todo o período de tempo, a firma i ao escolher um perfil de aprendizado irá se deparar com o mesmo conjunto de estratégias, denotado por $S = \{1, 2, \dots, 16\}$ ¹ e cada firma poderá adotar uma única estratégia no início de cada período sendo elas mutualmente excludentes. Como forma de definir as condições primárias do modelo, assume que no período $t = 0$, cada estratégia assume $\frac{1}{16}$ da população, distribuídos aleatoriamente entre a população total de indivíduos. Portanto, no período $t = 0$ haverá 100 agentes para cada perfil de aprendizado.

Uma vez determinado o perfil de aprendizado de cada agente do modelo, realiza-se o cálculo do custo específico de cada combinação de aprendizagem com base na equação (2.12). Posteriormente, calcula-se a utilidade privada de cada agente com base na função (2.13). Esta função apresenta por característica uma imagem delimitada no intervalo $[0, 1]$.

A próxima etapa da simulação, consiste em estimar o valor da utilidade social para cada agente do modelo. No entanto, anterior a este passo, cada agente i que utiliza os aprendizados 1 e 3, ou o aprendizado 1 ou o aprendizado 3 consulta os aprendizados utilizados pelos seus quatro vizinhos. Assim, caso o vizinho do agente i utiliza um dos aprendizados acima citados, soma-

¹ Por motivos computacionais, não foi possível associar o número 0 para a estratégia (0 0 0 0), desta maneira, tal estratégia será denotado por 1, a estratégia (0001) será denotada de 2 e assim sucessivamente.

se 1, caso utiliza as duas combinações de aprendizados soma-se 2. Em posse deste resultado, o i -ésimo agente calcula a utilidade social com base na função (2.15). Diante dos valores da utilidade social e privada, torna-se possível calcular a utilidade determinística de cada agente i baseado na equação (2.10).

Uma vez determinado a utilidade determinística de cada agente i , pode-se calcular a probabilidade específica de cada perfil de aprendizagem para o i -ésimo agente com base na equação (2.9). Em seguida, inicia-se o processo de revisão de estratégias dos agentes. Desta forma, para cada agente i um número aleatório r , $r \in \mathbb{R}[0,1]$ é gerado a partir de uma distribuição uniforme, caso $r < prob_0$, o agente i adotará o perfil de aprendizado 0; se $(Prob_0) < r < (Prob_0 + Prob_1)$, o agente i utilizará o perfil 1; se $(Prob_0 + Prob_1) < r < (Prob_0 + Prob_1 + prob_2)$, o agente 2 adotará a combinação 2 e assim sucessivamente até r ser menor que a probabilidade específica. Portanto, o agente adotará o aprendizado que tiver uma probabilidade (somatório) maior que o número r .

Tão logo todos os agentes decidam que estratégia seguir no próximo período, finaliza-se um período e uma nova distribuição de estratégias é obtida. Todo o procedimento aqui descrito para o período $t = 1$ aplica-se para qualquer outro período $t \geq 2$.

3.1.1 Teste de consistência do modelo

Uma vez realizado a implementação do modelo computacional, buscou-se avaliar se este é consistente. Assim, para cada teste varia o parâmetro de interesse e identifica os padrões de aprendizagem gerados após o choque no parâmetro. Os comportamento dos aprendizados serão avaliados a partir de sua trajetória. Cada linha das Figuras abaixo retratam as frações de firmas que utilizam cada um dos quatro tipos de aprendizados já explicitados no capítulo 2: *1-learning by search* (azul), *2-learning by other internal sources* (preto), *3-learning by advanced S&T* (verde) e *4-learning by other external*

sources(amarelo) e firmas i com perfil de aprendizado $\sigma_i = 0$, equivalentes a combinação de aprendizagem (0,0,0,0) serão representadas, pela linha vermelha.

Parâmetros iguais a 1

O primeiro teste tem por objetivo observar como o modelo se comporta com todos os parâmetros fixos e iguais a 1. Assim, este teste avalia como as proporções de aprendizado se comportam em um modelo cujos parâmetros adicionados não influenciam na sua dinâmica. Para este teste, espera-se que o resultado das frações de firmas no modelo que usam cada um dos aprendizados seja equivalente, ou seja, espera-se que a proporção de firmas que utilizam o tipo de aprendizado 1 seja equivalente a proporção de firmas que escolhem o aprendizado 2, que é o mesmo no 3 e no 4. Também é esperado uma pequena quantidade de firmas que não utilizam nenhum aprendizado, proporção essa de aproximadamente igual a $\frac{1}{16}$. Abaixo o resultado da Figura (3.1).

Ao observar a Figura (3.1), pode-se confirmar que cada tipo de aprendizado se equivale e é igual a 50%, ou seja, 50% das firmas no modelo, usam aprendizado tipo 1, 50% usam aprendizado tipo 2, 50% também para tipo 3 e 4. Note que a soma das porcentagens pode ser maior que 100 %, no caso 200%, pois o resultado permite a dupla contagem, ou seja, a firma i com combinação $\sigma_i = 16$, perfil de aprendizado (1,1,1,1), esta utilizando quatro tipos de aprendizados, portanto, ela é contada na fração 1, na fração 2, na fração 3 e na fração 4.

Variando o parâmetro β

O segundo teste do modelo tem a finalidade de testar a interpretação do parâmetro β . Como referido na seção 2.1 caso este parâmetro seja igual à zero, os valores das probabilidades de todos os agentes no modelo devem ser

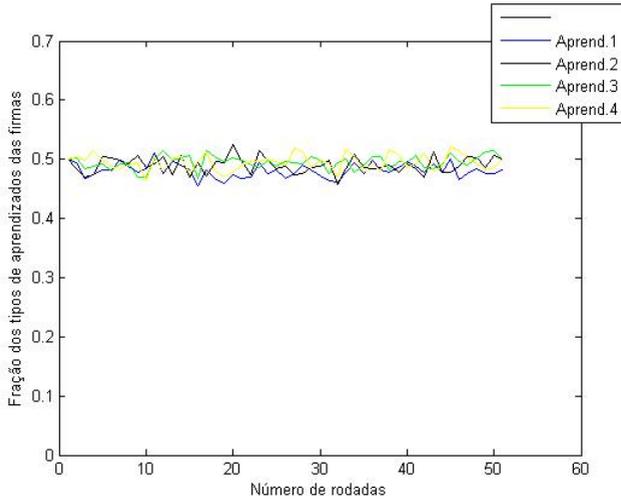


Figura 3.1: Evolução das estratégias com parâmetros constantes e iguais a 1.

equiprováveis de valor $\frac{1}{16}$, logo as decisões dos agentes não são influenciadas por fatores determinísticos, e assim o resultado das frações de firmas que utilizam os quatro tipos de aprendizado devem ser iguais, não importando os valores dados a quaisquer outros parâmetros. Portanto, espera-se que as frações das firmas do modelo que utilizam cada tipo de aprendizado sejam iguais.

Para a realização deste teste, foi assumido inicialmente que o parâmetro β seria igual a 0 e todos os demais parâmetros do modelo (α , γ , δ , θ) seriam iguais a um. Na Figura 3.2 encontra-se o resultado deste teste.

Ao avaliar a Figura 3.2, observa-se que as frações de firmas do modelo que utilizam cada tipo de aprendizado são iguais.

O próximo teste é verificar qual o comportamento das estratégias quando

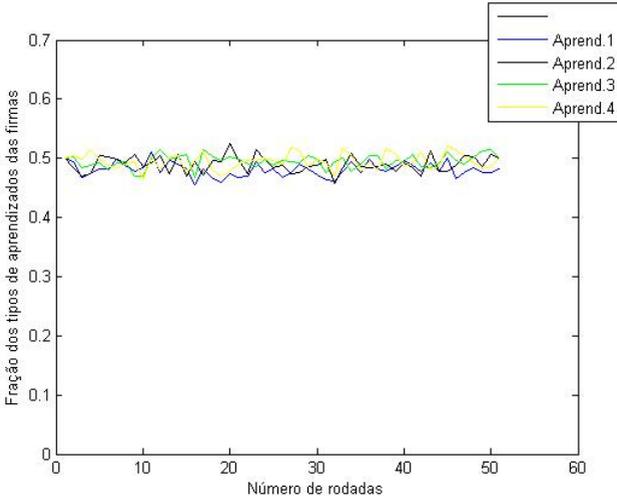


Figura 3.2: Evolução das estratégias com parâmetros constantes e β igual a 0.

β for igual à zero e α assume um valor muito alto, no caso 100. ($\gamma = 1$; $\alpha = 100$; $\beta = 0$; $\delta = 1$).

A Figura 3.3 mostra que os aprendizados se distribuem de maneira igual entre os agentes do modelo.

O próximo teste tem a mesma lógica do teste anterior. Contudo, o parâmetro a sofrer variação será o parâmetro δ que assumirá o valor de delta igual a 100. Os outros parâmetros (γ , α) serão iguais a 1 e o parâmetro β será igual a 0. O resultado esperado para este teste é que as proporções de aprendizado sejam iguais ao longo da simulação.

O resultado obtido na Figura 3.4 confirma o resultado esperado. Assim, pode se concluir que caso o parâmetro β seja igual à zero, os efeitos que o *payoff* determinístico privado e o *payoff* determinístico social causam nos agentes são neutros. Portanto, quando o parâmetro que mede a heterogenei-

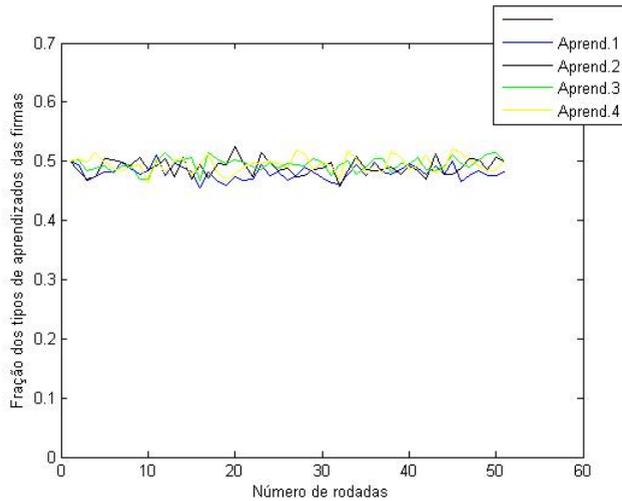


Figura 3.3: Evolução das estratégias com variação em α e β igual a 0.

dade dos agentes é igual a zero, ($\beta = 0$), não existe um critério determinístico por parte dos agentes e estes são balizados somente pelos componentes idios-sincráticos ao escolher seu aprendizado. Nesses casos as escolhas dos agentes são completamente imprevisíveis.

O próximo teste visa avaliar o comportamento dos aprendizados adotados pelas firmas quando o parâmetro que mede a heterogeneidade dos agentes assume um valor elevado, $\beta = 50$ e todos os outros parâmetros serão considerados constantes e igual a 1. A Figura 3.5 apresenta o resultado para o teste proposto.

Ao analisar a Figura 3.5, observa-se um resultado interessante e não esperado. Inicialmente verifica-se um pico na proporção de firmas que usam o *learning by other external sources*. No entanto, tal comportamento decresce e se estabiliza em aproximadamente 40% das firmas. Pode-se dizer

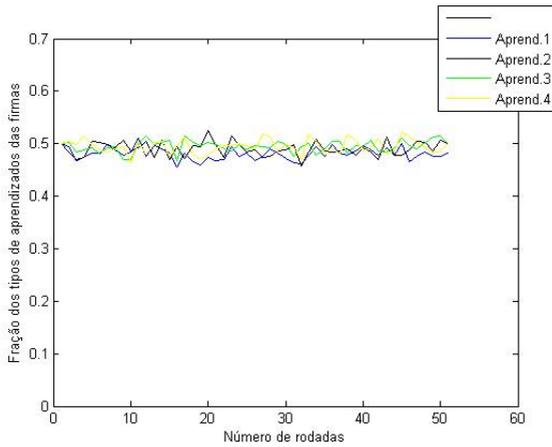


Figura 3.4: Evolução das estratégias com variação em $\delta = 100$ e β igual a 0.

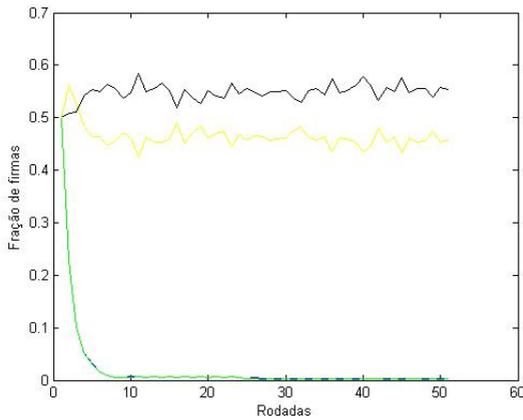


Figura 3.5: Evolução das estratégias com variação em β igual a 50.

que os aprendizados l_2 e l_4 emergem como dominante quando o parâmetro β assume um valor elevado.

variação no *payoff* privado

O próximo teste do modelo terá como principal objetivo observar qual o padrão de aprendizado emerge quando um maior peso é dado ao parâmetro relacionado a *payoff* determinístico privado dos agentes .

O parâmetro α está relacionado ao grau de sensibilidade do *payoff* privado, assim, quando seu valor aumenta e todos os demais parâmetros permanecem com valor constante e igual a 1, espera-se que as firmas adotem a combinação de aprendizados que gere o maior ganho privado possível, ou seja, as firmas irão se concentrar nos aprendizados de menor custo l_2 e l_4 . Para a realização deste teste, adotou-se a seguinte combinação de parâmetros: $\gamma = 1$; $\alpha = 5$; $\beta = 1$; $\delta = 1$; $\theta = 1$. A Figura 3.6 apresenta o resultado para o teste proposto.

O resultado da Figura 3.6 confirma a hipótese levantada. Assim, uma média de 62% das firmas adotam o l_4 e cerca de 55% adotam l_2 . Logo, os aprendizados dominantes são aqueles vinculados ao menores gastos com as atividades inovativas , ou seja, a motivação observável dominante são os custos. Cabe ressaltar que estas firmas são mais intensivas em conhecimento do tipo *know-how*, tácito, portanto são dependentes das atividades produtivas que não exigem P&D . Importante ressaltar que as atividades de P&D tanto interna quanto externa compõem, respectivamente, aproximadamente 32% e 27% das firmas.

O próximo teste tem a mesma característica que o teste anterior. Assim, altera-se o parâmetro que mede o incentivo privado (α) e todos os demais parâmetros serão considerados constantes. Para a realização deste teste, considera-se a seguinte combinação de parâmetros: $\gamma = 1$; $\alpha = 50$; $\beta = 1$; $\delta = 1$; $\theta = 1$. A Figura 3.7 mostra o resultado do teste proposto.

Ao analisar a Figura 3.7, observa-se que os aprendizados l_1 e l_3 são

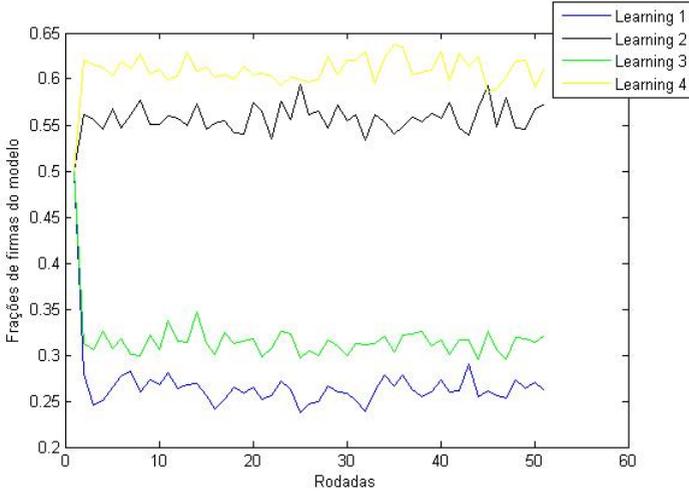


Figura 3.6: Evolução das estratégias com variação em $\alpha = 5$.

eliminados quando o parâmetro (α) apresenta um valor elevado. Importante notar é que na Figura 3.7 há uma pequena redução na proporção de firmas que usam ℓ_2 e ℓ_4 em relação a Figura 3.6. Esse comportamento deve-se ao fato das firmas, na tentativa de reduzir seus custos, não diversificar seus gastos e tendem a um perfil que utilize somente um tipo da aprendizado, ou seja, $\sigma_i = (0,1,0,0)$ ou $(0,0,0,1)$.

Variação no *payoff* social

O próximo teste a ser realizado tem por objetivo variar o parâmetro que mede o grau de sensibilidade do retorno social e verificar quais as propriedades emergentes deste teste.

Como visto no referencial teórico, firmas que adotam os aprendizados *Learning by search* e *Learning by S&T*, cujos esforços inovativos estão associados à P&D conseguem gerar externalidades de rede positiva para as

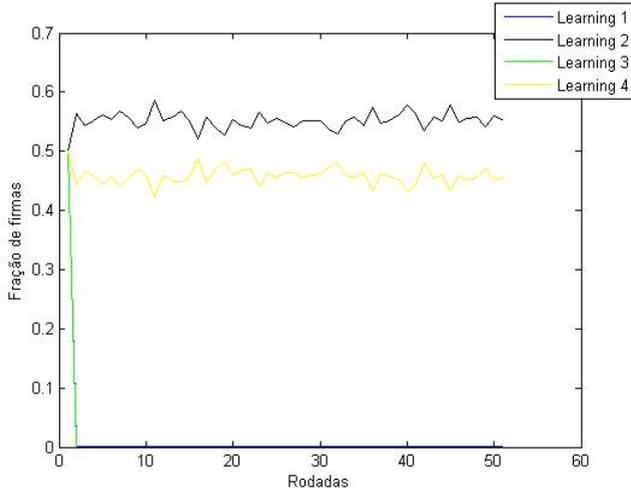


Figura 3.7: Evolução das estratégias com variação em $\alpha = 50$.

empresas que adotam estes aprendizados. Portanto, ao realizar este teste, espera-se que ao aumentar os valores dos parâmetros relacionados ao *payoff* social, (δ e θ), haverá uma maior concentração de empresas que utilizam os aprendizados l_1 e l_3 . Para a realização deste teste, a configuração dos parâmetros adotados foram $\theta = 5$ $\delta = 5$; $\alpha = 1$; $\gamma = 1$; $beta = 1$.

Ao analisar o comportamento dos aprendizados adotados pelas firmas na Figura 3.8, observa-se que 75% das firmas usam l_1 e l_3 . Tal resultado confirma a hipótese levantada. Todavia, 50% das firmas adotam o l_2 e l_4 mesmo com $\delta = 5$. A explicação para este resultado é que há incentivos para as firmas usarem mais de um tipo de aprendizados, ou seja, $\sigma_i = (1,1,1,0)$ ou $(1,1,1,1)$. A explicação para esta ocorrência é que os custos se tornam um fator pouco relevante para as decisões das firmas.

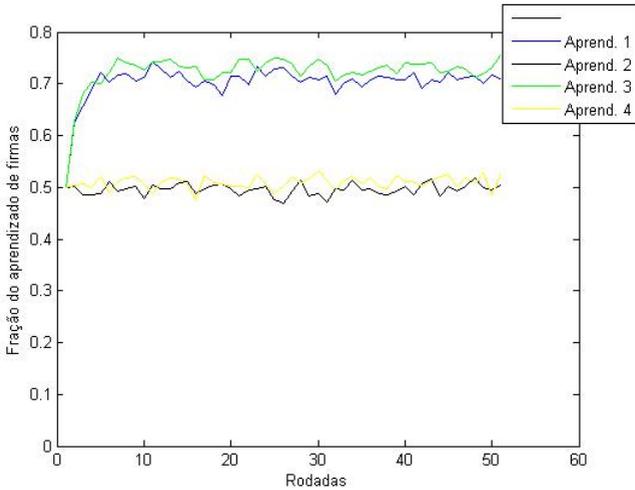


Figura 3.8: Evolução das estratégias com variação em $\delta = 5$ e $\theta = 5$.

3.2 Calibração

Uma vez realizado os testes para verificar a robustez e confiabilidade do modelo computacional e obtidos resultados ao encontro do esperado, o passo seguinte foi calibrar o modelo. O objetivo da calibração é deixar a simulação do modelo computacional o mais próximo dos valores reais. Desta maneira, este procedimento consiste em encontrar o conjunto de parâmetros que oferece o melhor ajuste para as constantes paramétricas que definem o grau de sensibilidade do componente determinístico privado e social δ , α e β . Os dados tomados como referencial na calibração do modelo computacional foram os dados empíricos da Pesquisa de Inovação Tecnológica de 2008 (Pintec 2008).

O critério de calibração utilizado foi minimizar a distância euclidiana entre o par das médias aritméticas da proporção dos perfis de aprendizados

das firmas apresentados no modelo e seu respectivo valor empírico. Mais precisamente, a combinação de parâmetros tomados como referência foi aquele que minimiza a seguinte norma:

$$\sqrt{\sum_{j=1}^4 (FRS_{Lj} - FR2008_{Lj})^2}, \quad (3.1)$$

sendo FRS a média da fração de firmas da simulação i que usa o aprendizado com j sendo $j = 1, 2, 3, 4$ e $FR2008$ é a fração de firmas extraído dos dados da 8ª tabela do CNAE 2.0 da PINTEC 2008.

Com base no critério acima, utilizou-se da função *fminsearch* do MATLAB para encontrar a melhor combinação dos parâmetros que minimiza (3.1), ou seja, que melhor se ajusta aos dados empíricos. A síntese deste teste é comparar a distância euclidiana entre as séries geradas pelo modelo computacional e os dados observados empiricamente. Esta função de calibragem escolhe uma combinação de parâmetros, simula computacionalmente os valores e os confronta com os dados empíricos. Se esta combinação de parâmetros gere uma menor distância do que aquela gerada pelos valores dos parâmetros até então selecionados, a função armazenará este conjunto de parâmetros e descartará a combinação anterior. Este processo se repetirá até o algoritmo encontrar a configuração de parâmetros que minimiza a função-objetivo (3.1) com certa tolerância.

Com base no critério de calibração descrito acima, obteve a seguinte combinação de parâmetros.

$$\beta = 3.1704;$$

$$\gamma = 1.0276;$$

$$\theta = 2.1339;$$

$$\alpha = 4.3437;$$

$$\delta = 0.1376;$$

A Figura 3.9 apresenta os aprendizados utilizados pelas firmas gerada pelo modelo computacional com a melhor configuração de parâmetros obtida pela calibragem para o setor de transformação.

Na Figura 3.9 10% das firmas adotam o tipo de aprendizado l_1 , com

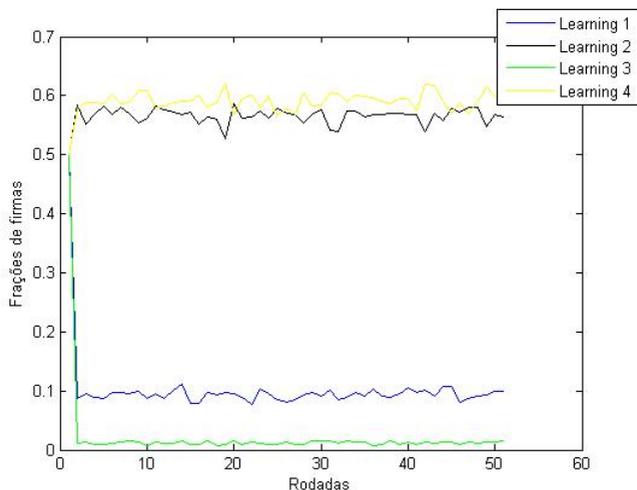


Figura 3.9: Resultado do modelo com os parâmetros calibrados .

oscilações entre 7 a 11%. Por sua vez, 56,51% das firmas com oscilações entre 50 e 58% utilizam o aprendizado l_2 ; As firmas que utilizam o aprendizado l_3 no modelo calibrado foi de 2,13% e para as firmas que utilizam o l_4 , o valor obtido na calibração foi de 58,69% (entre 63 a 53%). Ressalta-se que a calibração aproximou os valores com pequenas distorções em l_2 e l_4 , isto ocorre porque estes aprendizados apresenta uma elevada rigidez nos custos.

Para finalizar a presente seção, a Figura 3.10 apresenta os dados extraídos da 8ª tabela do CNAE 2.0 da PINTEC 2008 e utilizados para a calibração do modelo computacional.

Proporção de firmas por tipo de learning													
<i>Learning by search</i>		<i>Learning by internal sources</i>				<i>Learning by advanced</i>		<i>Learning by other external sources</i>					
Atividades Internas de Pesquisa e Desenvolvimento		Treinamento		Projeto industrial e outras preparações técnicas		Aquisição externa de Pesquisa e desenvolvimento		Aquisição externa de outros conhecimentos		Aquisição de software		Introdução das inovações tecnológicas no mercado	
Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor	Número de empresas	Número de firmas do setor
2892	25 365	7 023	25 365	2 976	25 365	842	25 365	2 184	25 365	4 950	25 365	6 494	25 365
Fração de firmas (L1)		Fração de firmas (L2)				Fração de firmas (L3)		Fração de firmas (L4)					
11,24%		31,24%				3,321%		28,125%					

Figura 3.10: Proporção de firmas por tipo de *learning*

3.3 Propriedades emergentes dos coeficientes calibrados no setor de transformação

Com base nos valores dos parâmetros calibrados, pode-se tirar importantes conclusões acerca do modelo quanto aos parâmetros β , α e principalmente δ . Eles estão relacionados, respectivamente, à incerteza processual, o esforço inovativo destinado as atividades que não envolvem P&D ou efeitos de rede, e ao coeficiente de externalidade ou cooperação de rede de P&D entre firmas que esta diretamente relacionada com ao "processo coletivo de aprendizado"

De acordo com BRITTO (2001), as firmas que se encontram em rede podem ser condicionado pela geração de *spill-over* decorrentes da comunicação dessas firmas e também poderiam ser definidas economicamente (em se tratando de economia da inovação) pelo compartilhamento de capital social gerado do fruto do aumento da base de conhecimentos resultados do contínuo processo de aprendizagem. Nesse capital social, são incorporados os gargalos, as oportunidades tecnológicas e as habilidades sedimentadas ao longo do tempo em pessoas e organizações. As capacitações e "memórias" são transbordadas de uma atividade econômica a outra, tendendo a organizar condições específicas aos países, às regiões e como tais, determinam diferentes incentivos/estímulos/restrições à inovação.

Parâmetro correspondente a fonte de aprendizado *learning by*

doing. (payoff social)

Para o setor de transformação, o parâmetro que avalia o grau de sensibilidade e está relacionado em sua maior parte ao conhecimento que não envolve P&D, o valor obtido deste parâmetro obtido na calibração foi de 4.3437. Isto indica um alto esforço inovativo das firmas no setor dos aprendizados que tem relação com treinamento, aquisição de patentes, aquisição de software, introdução das inovações tecnológicas do mercado. Além disso, este alto valor reflete que os dispêndios das firmas no setor de transformação, estão relacionados aos esforços que visam retorno de curto prazo e inovações incrementais. O alto valor do parâmetro reflete o baixo grau de inovações de escala nacional ou mesmo internacional.

Parâmetro correspondente à incerteza processual (β)

O parâmetro (β) mede a intensidade de escolha dos agentes e o grau de heterogeneidade. O valor do parâmetro calibrado 3.1704 é um indicador de que as firmas no modelo atribuem um alto peso as motivações privadas (custo) e sociais (externalidades das firmas que adotam o aprendizado l_1 e l_3) em sua tomada de decisão.

A incerteza processual, conforme mencionado anteriormente, é a impossibilidade das firmas maximizarem a sua recompensa com base na otimização ortodoxa. Caso fosse levado em conta a racionalidade plena o modelo, um único aprendizado seria emergente em cada passo da simulação.

Parâmetro correspondente ao coeficiente de externalidade da firma (δ)

O parâmetro delta é o coeficiente mais importante do trabalho. Como já abordado anteriormente, a grande contribuição do trabalho é mensurar a magnitude dos efeitos de rede gerados pelo investimento em P&D e a cooperação entre as firmas que desenvolvem a mesma atividade. As atividades inovativas voltadas a pesquisas em C&T ou P&D interna além de gerar capital social nacional específico que transborda no setor, também amplia no estoque de conhecimento codificado que podem ser absorvidos por

outras firmas. No entanto, a absorção desse tipo de conhecimento por outros (externalidade) somente é factível caso esses dispendam recursos em P&D interno e tenha um processamento eficaz de processamento de informações via cooperação (estejam conectados na rede).

No setor de transformação esse coeficiente de externalidade calibrado assumiu um valor pequeno 0.1376. Isto indica uma baixa atividade cooperativa para inovação, que no cenário brasileiro seria um reflexo das restrições do capital social nacional. Mais especificamente, os empresários locais não reconhecem o benefício de engajar-se em processos de inovação, em especial aqueles com maior impacto e também não investem em atividades que envolva produção acadêmica.

Considerações Finais

Buscou-se neste trabalho elaborar um modelo baseado em agentes em escolhas discretas que representa o comportamento das firmas que interagem em uma rede no qual as suas decisões dependem de motivações determinísticas privadas individuais e também da externalidade gerada por outras firmas. Assim, utilizando o arcabouço teórico Neo-schumpeteriano, cada firma busca em todo o período de tempo escolher o melhor perfil de aprendizado disponível e um importante indicador de seu desempenho são os gastos em atividades inovativas.

Para obter os parâmetros da modelagem, realizou-se a calibração do modelo. Assim, utilizou-se os dados da PINTEC 2008 para o setor de transformação. Os valores encontrados para o peso da utilidade privada (α) e o parâmetro que mede a heterogeneidade dos agentes (β) foram elevados, isto indica que as firmas atribuem um peso alto aos incentivos privados (custos) e a heterogeneidade dos agentes é baixa.

O coeficiente de externalidade δ , resultado das interações de redes entre os agentes que estão diretamente relacionados às atividades de P&D, fontes de conhecimento foi de aproximadamente 0,15. Tal resultado mostra que existe uma reduzida externalidade no setor analisado.

Uma falha neste estudo é considerar que a utilidade privada é inversamente proporcional ao custo do perfil de aprendizado adotado pela firma. Todavia, esta premissa não está de acordo com a realidade. Assim, para tra-

balhos futuros sugere-se alterar este indicador. Ademais, seria interessante incluir os parâmetros de recentidade e experimentação para levar em conta o efeito *path dependence* das firmas.

Referências Bibliográficas

- ARROW, K. J. (1962), 'The economic implications of learning by doing.', *Review of Economic Studies* **29**, 155–173.
- BITTENCOURT, P. F. (2012), 'Padrões setoriais de aprendizagem da indústria brasileira: uma análise exploratória', *Revista Brasileira de Inovação* **11(1)**, 37–68.
- BRITTO, J. (2001), 'Cooperação tecnológica e aprendizado coletivo em redes de firmas: sistematização de conceitos e evidências empíricas', *XIX Encontro Nacional de Economia da ANPEC, Salvador* .
- BROCK, W. A. & DURLAUF, S. N. (2001), 'Discrete choices with social interactions', *The Review of Economic Studies* **68**, 235–260.
- CHESBROUGH, H. & TEECE, D. (1996), 'When is virtual virtuous?: Organizing for innovation..', *Harvard Business Review* **43**, 65–73.
- COHEN, W. & LEVINTHAL, D. (1989), 'Innovation and learning: The two faces of r&d', *Economic Journal* **13(99)**, 569–596.
- DAWID, H. (2006), '"agent-based models of innovation and technological change"', *Handbook of Computational Economics, in: Leigh Tesfatsion & Kenneth L. Judd (ed.) Handbook of Computational Economics* **2**, 1235–1272.

- DOSI, G. (1982), 'Technological paradigms and technological trajetories. in: Research policy,' *North-Holland Publishing Company* (11).
- DOSI, G. & EGIDI, M. (1991), '"substantive and procedural uncertainty', *Journal of Evolutionary Economics* pp. 145–168.
- DURLAUF, S. (1977), *Statistical mechanics approaches to socioeconomic behavior. In: Arthur, W.B. and Durlauf, S.N. and Lane, D.A (Eds.). The economy as an evolving complex system II.*
- FREEMAN, C. (1974), 'The economics of industrial innovation', *Penguin Books* .
- FREEMAN, C. (1991), 'Networks of innovators: A synthesis of research issues', *Research Policy* **20**, 499–514.
- FREEMAN, C. (1993), 'The economics of technical change', *Cambridge Journal of Economics* .
- FREEMAN, C. & SOETE, L. (1997), 'The economics of industrial innovation', *MITPress, Cambridge, MA* .
- FREITAS, G. G. (2003), *Economia e sistemas complexos: interações sociais, dinâmicas emergentes e uma análise da difusão da internet na cidade de são paulo*, Master's thesis, Universidade de São Paulo.
- GEROSKI, P. (1996), 'Innovation and competitive advantage.', *OECD Economics Department Working Papers* **159**.
- GRILICHES, Z. (1992), 'The search for r&d spillovers', *Scandinavian Journal of Economics(Supplement)* (94), 29–47.
- JENSEN, M. B., JOHNSON, B., LORENZ, E. & LUNDVALL, B. A. (2007), 'Forms of knowledge and modes of innovation.', *Research Policy* (36), 680–693.

- JOHNSON, B., LORENZ, E. & LUNDVALL, B. A. (2002), "“why all this fuss about codified and tacit knowledge?”.", *Industrial and Corporate Change* **11** (2)(63), 245–262.
- LEVIN, C. (1988), 'Appropriability, r&d spending and technological progress.', *American Economic Review* **78**(2), 424–428.
- LUNDVALL, B. A. (2004), 'Why the new economy is a learning economy.', *DRUID Working Papers 04-01*, DRUID, Copenhagen Business School, Department of Industrial Economics and Strategy/Aalborg University, Department of Business Studies .
- LUNDVALL, B. A. & JOHNSON, B. (1994), '"the learning economy," industry & innovation', *Taylor and Francis Journals* **1**(2), 23–42.
- MALERBA, F. (1992), 'Learning by firms and incremental technical change', *The Economic Journal* **102**, 845–859.
- MARSHALL, A. (1948), 'Principles of economics: An introductory volume', *London, Macmillan and co. limited* **8**.
- NELSON, R. (1995), 'Recent evolutionary theorizing about economic change', *Journal of Economic Literature* **XXXIII**.
- NELSON, R. & WINTER, S. (1982), 'An evolutionary theory of economic change', *Belknap Press* .
- NOTEBOOM, B. (2000), 'Learning and innovations in organisations. perspectives from new institutional economics', *Oxford, Oxford University Press* .
- PAVITT, K. (1984), 'Patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory.', *Campinas: Unicamp* **13**(6), 343–374.

- POSSAS, L. M., KOBLITZ, A., LICHA, A. & OREIRO, J. L. (2001), 'Um modelo evolucionário setorial,' *Revista Brasileira de Economia* **55(3)**, 333–377.
- POSSAS, M. (2008), 'Economia evolucionária neo-schumpeteriana: elementos para uma integração micro-macrodinâmica,' *Revista de Estudos Avançados, IEA/USP* **22(63)**.
- ROSEMBERG, N. (1990), "'why do firms do basic research (with their own money)?"', *Research Policys* **19(2)**, 165–174.
- SCHUMPETER, J. (1984), 'Capitalismo, socialismo e democracia', *Zahar Editores* .
- SCHUMPETER, J. A. (1982), 'A teoria do desenvolvimento econômico', *Abril Cultural São Paulo*.
- SIMON, H. (1978), 'On how to decide what to do.', *The Rand Journal of Economics* **9(2)**.
- SIMON, H. (1987), 'Decision making and problem solving.', *Management science* **17(5)**, 11–21.
- TIGRE, P. (1998), 'Inovação e teorias da firma em três paradigmas', *Revista de Economia Contemporânea* **3**, 67–111.
- TRAIN, K. (2003), *Discrete Choice Methods with Simulation*.
- VIOTTI, E. B. (2003), 'Fundamentos e evolução dos indicadores de ct&ie', *Campinas: Unicamp* pp. 41–87.
- ZAHEER, A. & BELL, G. (2005), 'Benefiting from network position: Firm capabilities, structural holes, and performance.', *Strat. Management J* **26**, 809–825.
- ZAHRA, S. & GEORGE (2002), 'Innovation and competitive advantage.', *OECD Economics Department Working Papers* **127**, 185–203.