

MARIA ALICE FERREIRA DOS SANTOS

**INOVAÇÃO AMBIENTAL: DETERMINANTES E IMPACTOS SOBRE A
PRODUTIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S237i
2016 Santos, Maria Alice Ferreira dos, 1988-
Inovação ambiental : determinantes e impactos sobre a
produtividade da indústria brasileira / Maria Alice Ferreira dos
Santos. – Viçosa, MG, 2016.
xiv, 139f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: José Gustavo Féres.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.124-138.

1. Produtividade - Indústrias - Brasil. 2. Sustentabilidade e
meio ambiente. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Economia Rural. Programa de Pós-graduação
em Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22 ed. 338.2681

MARIA ALICE FERREIRA DOS SANTOS

**INOVAÇÃO AMBIENTAL: DETERMINANTES E IMPACTOS SOBRE A
PRODUTIVIDADE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA em 12 de dezembro de 2016.

Fernanda De Negri

Rudi Rocha

Jader Fernandes Cirino

Evaldo Henrique da Silva
(Coorientador)

José Gustavo Féres
(Orientador)

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs, minha tia e meu esposo, pessoas mais importantes na minha vida, pelo que me ensinaram e transmitiram, por terem contribuído de alguma forma para o meu amadurecimento pessoal e profissional.

“Porque o homem, que soube criar essa tecnologia maravilhosa, não se decide ainda a pôr a mesma energia e a mesma imaginação em empregá-la para construir uma sociedade melhor” (PREBISCH, 1973, p. 229).

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu sustento, refúgio e fortaleza, por me conceder a graça de mais uma vitória; e à Maria, mãe querida, pela intercessão em todos os momentos de minha vida.

A minha família, em especial aos meus pais, Paulo e Mirtes, por todo o apoio incondicional para prosseguir meus estudos, amor e compreensão. As minhas irmãs, Ana e Bela, pela amizade e sinceridade. A Tia Nina, pelo carinho e incentivo. A minha nova família, meus sogros, Seu Narciso e Dona Nilma, pela serenidade e apoio e aos meus cunhados pelo incentivo.

Ao meu amado esposo e amigo Emerson. Não há palavras que expressem toda a minha gratidão e amor por você, ao dividir comigo esse momento de alegria e realização e outros de ansiedade e angústia. Sou grata por ter ao meu lado alguém que compreende todos os sentimentos enfrentados durante essa etapa. Obrigada pelo amor, companheirismo e por todos os momentos de alegria.

Ao meu orientador, Professor José Gustavo Féres, pelos ensinamentos e conselhos durante esse tempo de rica convivência, exemplo de professor e orientador a ser seguido. Agradeço profundamente pelo aprendizado que me proporcionou e pelo respeito e motivação que sempre teve ao meu trabalho.

Ao meu coorientador Professor Evaldo Henrique da Silva que sempre me motivou e acreditou no meu potencial. Obrigada pelos comentários e pelas contribuições para a realização deste trabalho.

Ao IBGE, que disponibilizou os dados utilizados na tese e aos funcionários responsáveis pela sala de sigilo, agradeço o auxílio e a receptividade.

Ao Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade; a todos os funcionários do DER, especialmente à Carminha e à Margarida. Agradeço ainda aos professores do Departamento de Economia da UFV, e em especial à Professora Elaine, que sempre me apoiou e me instigou a crescer no meio acadêmico.

Aos colegas e amigos de doutorado, em especial, Frederick, Soraia, Diogo e Lucas, que fizeram com que essa trajetória fosse mais feliz e menos sofrida e por se tornarem pessoas inesquecíveis e muito especiais para mim. Ao Gabriel Ervilha, grande amigo e incentivador para que eu alcançasse mais essa vitória.

A todos não citados que contribuíram de alguma forma para mais uma etapa de vida, o meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

MARIA ALICE FERREIRA DOS SANTOS, filha de Paulo Sidney Ferreira e Mirtes Rosângela Ferreira, nasceu em Montes Claros, MG, em 06 de maio de 1988.

Em agosto de 2006, ingressou no Curso de Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), em Montes Claros, MG, obtendo o título de Bacharel em agosto de 2010.

Em agosto de 2011, iniciou o Curso de Mestrado em Economia do Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em julho de 2013.

Em agosto de 2013, iniciou o Curso de Doutorado em Economia Aplicada do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa da tese em dezembro de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 O problema e sua Importância.....	5
1.3 Hipótese.....	10
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo Geral.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 A Inovação pela visão Neoclássica.....	11
2.1.1 <i>Demand-pull</i> (Demanda Induzida).....	12
2.1.2 <i>Technology-push</i> (Oportunidade Tecnológica).....	17
2.2 O tratamento das Inovações Tecnológicas pela Teoria Evolucionária.....	22
2.2.1 Trajetórias tecnológicas, <i>path-dependence</i> e heterogeneidades setoriais.....	23
2.3 Inovação Ambiental.....	33
2.3.1 Conceituações da Inovação Ambiental.....	33
2.3.2 Classificações da Inovação Ambiental.....	35
2.3.3 Especificidades da Inovação Ambiental.....	38
2.4 A Relação entre Inovação e Produtividade.....	41
2.5 Competividade e meio ambiente: a Hipótese de Porter.....	46
2.5.1 Fundamentação teórica da Hipótese de Porter.....	51
3 INOVAÇÃO AMBIENTAL: DETERMINANTES E IMPACTO NA PRODUTIVIDADE.....	56
3.1 Determinantes da Inovação Ambiental.....	56
3.2 Inovação Ambiental e Produtividade.....	64
4 METODOLOGIA.....	70
4.1 Base de Dados e Descrição de Variáveis.....	70

4.2 Modelo Analítico.....	76
4.2.1 Equações de Esforço Inovativo.....	79
4.2.2 Equação de Inovação Ambiental.....	86
4.2.2.1 Inovação ambiental <i>versus</i> inovação convencional: análise de heterogeneidade.....	88
4.2.3 Equação de Produtividade.....	90
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	92
5.1 Descrição Analítica das Variáveis dos Modelos.....	92
5.2 Resultados das Estimações.....	100
5.2.1 Estimações do esforço inovativo (Decisão de gastos em atividades inovativas).....	101
5.2.2 Estimações de Inovação Ambiental.....	106
5.2.2.1 Analisando a heterogeneidade da inovação ambiental <i>versus</i> inovação convencional.....	112
5.2.3 Estimações de Produtividade.....	116
6 CONCLUSÕES.....	121
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
APÊNDICE.....	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas Descritivas: Variáveis binárias no período de 2000 a 2011.....	93
Tabela 2 – Estatística Descritiva: variáveis contínuas – Médias no período de 2000 a 2011.....	93
Tabela 3 – Características das empresas que realizaram Inovação Ambiental (IA) ampla e restrita no período de 2000 a 2011.....	96
Tabela 4 – Estatística Descritiva: Atividades Econômicas (CNAE 2.0).....	99
Tabela 5 – Estimações: Esforço Inovativo – Modelo de Heckman.....	101
Tabela 6 – Estimações: Inovação Ambiental ampla – <i>Probit</i>	107
Tabela 7 – Estimações: Inovação Ambiental restrita – <i>Probit</i>	111
Tabela 8 – Estimações: Inovação Ambiental restrita (IA) e Inovação Convencional (IC) – <i>Probit</i> Bivariado – Efeitos Marginais.....	113
Tabela 9 – Estimações: Produtividade – Efeitos fixos.....	116
Tabela 10 - Estimações: Produtividade – Efeitos fixos.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva de possibilidades de inovações (IPC).....	15
Figura 2 – Diagrama do Modelo CDM.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variáveis utilizadas.....	73
Quadro 2 – Classificação das atividades econômicas e níveis de intensidade tecnológica..	76

RESUMO

SANTOS, Maria Alice Ferreira dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Inovação Ambiental: determinantes e impactos sobre a produtividade da indústria brasileira.** Orientador: José Gustavo Féres. Coorientador: Evaldo Henrique da Silva.

As transformações observadas em diferentes âmbitos mundiais resultantes das práticas produtivas e do alto consumo da população estão gerando grandes impactos sobre os recursos naturais. Para uma melhor atuação do ser humano para minimizar os impactos ambientais dos padrões de produção e consumo, novas perspectivas socioeconômicas, tecnológicas, políticas e ambientais devem estar em consonância com as discussões que vem sendo desenvolvidas para melhorar a qualidade de vida da sociedade. Neste cenário, a substituição ou adaptação de padrões tecnológicos atuais, visando as inovações ambientais, tornou-se uma alternativa para promover o crescimento sustentável. A partir da década de 1990, a questão ambiental ganhou espaço nas preocupações sociais das empresas brasileiras ao perceber o crescente interesse e preocupação da sociedade com o meio ambiente. No estudo foi possível identificar dois conceitos para a inovação ambiental: o amplo focado no desempenho da firma, tido como um possível sub-produto da inovação convencional; e, o restrito com base em um objetivo *a priori* da firma que é a redução de impactos ambientais. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo analisar os determinantes da adoção de inovações ambientais e o seu impacto sobre a produtividade da indústria brasileira no período de 2000 a 2011. Para tanto, realizou-se uma análise empírica em nível da firma com os dados da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) e da Pesquisa Industrial Anual (PIA), acerca da relação entre atividades inovativas, inovação ambiental e produtividade. Os resultados evidenciaram que as firmas que pertencem a atividades econômicas menos intensivas em tecnologia adotam mais inovação ambiental. Uma vez que esses setores são os que menos gastam com atividades inovativas, uma justificativa que pode ser dada é que a falta de recursos ou capacidade próprios para realizar algum tipo de inovação seja suprida por mais incentivos do governo do que para as firmas mais intensivas em tecnologia, sendo essas as que mais investem em atividades inovativas. Ademais, setores mais intensivos em tecnologia foram os que mais se adequaram às normas e regulamentos. Nesse sentido, em relação aos determinantes da inovação ambiental ampla e restrita, constatou-se que a regulação ambiental é um fator importante para impulsionar a inovação ambiental, de modo a influenciar em uma produção mais limpa e apresentar instrumentos mais específicos de iniciativas empresariais que possam induzir as firmas a introduzirem produtos e processos menos danosos ao meio ambiente. Além disso, a adoção de

inovação ambiental depende também de outras características das indústrias e da capacidade de resposta de cada firma, ou seja, suas especificidades inter e intrasetoriais. Os resultados corroboram ainda com a versão “fraca” da hipótese de Porter. Em relação ao impacto da inovação ambiental sobre a produtividade, os resultados mostraram que tanto a inovação ambiental restrita quanto a inovação ambiental ampla influenciaram positivamente sobre a produtividade das firmas, de modo mais expressivo em relação à inovação ambiental restrita, corroborando com a versão “forte” da hipótese de Porter de que a regulação afeta positivamente a inovação ambiental e a produtividade das firmas.

ABSTRACT

SANTOS, Maria Alice Ferreira dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Environmental Innovation: determinants and impacts on the productivity of the Brazilian industry.** Advisor: José Gustavo Féres. Co-advisor: Evaldo Henrique da Silva.

The transformations observed in different global environments resulting from the productive practices and the high consumption of the population are generating great impacts on the natural resources. For a better human performance to minimize the environmental impacts of production and consumption patterns, new socioeconomic, technological, political and environmental perspectives must be in line with the discussions that have been developed to improve the quality of life of society. In this scenario, the replacement or adaptation of current technological standards, targeting environmental innovations, has become an alternative to promote sustainable growth. Since the 1990s, the environmental issue has gained space in the social concerns of Brazilian companies when they perceive the growing interest and concern of society with the environment. In the study it was possible to identify two concepts for environmental innovation: the broad one focused on the performance of the firm, considered as a possible by-product of conventional innovation; And, the restricted one based on an a priori objective of the firm that is the reduction of environmental impacts. In this sense, the present work has as objective to analyze the determinants of the adoption of environmental innovations and their impact on the productivity of the Brazilian industry in the period from 2000 to 2011. For this, an empirical analysis was carried out at the firm level with data from the Research for Technological Innovation (PINTEC) and the Annual Industrial Survey (PIA), about the relationship between innovative activities, environmental innovation and productivity. The results showed that firms that belong to less technologically intensive economic activities adopt more environmental innovation. Since these sectors are the ones that spend least on innovative activities, a justification that can be given is that the lack of resources or capacity to perform some type of innovation is supplied by more government incentives than by the more intensive firms in Technology, and these are the ones that invest most in innovative activities. In addition, sectors more intensive in technology were those that more adapted to the norms and regulations. In this sense, in relation to the determinants of broad and restricted environmental innovation, it was verified that environmental regulation is an important factor to boost environmental innovation, in order to influence cleaner production and to present more specific instruments of entrepreneurial initiatives that can induce firms to introduce products and processes that are less damaging to the environment. In addition, the adoption of environmental innovation also

depends on other characteristics of the industries and the responsiveness of each firm, that is, its inter and intrasectoral specificities. The results also corroborate the “weak” version of Porter's hypothesis. Regarding the impact of environmental innovation on productivity, the results showed that both restricted environmental innovation and broad environmental innovation positively influenced firm productivity, more significantly in relation to restricted environmental innovation, corroborating the “strong” from Porter's hypothesis that regulation positively affects environmental innovation and firm productivity.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As transformações observadas em diferentes âmbitos mundiais resultantes das práticas produtivas e do alto consumo da população estão gerando grandes impactos sobre os recursos naturais. Há um relativo consenso que o consumo e a produção sejam incompatíveis com o meio ambiente. Os impactos podem ser verificados pelo aumento da poluição e degradação sobre o meio ambiente. Para uma melhor atuação do ser humano a fim de minimizar os impactos ambientais dos padrões de produção e consumo, novas perspectivas socioeconômicas, tecnológicas, políticas e ambientais devem estar em consonância com as discussões que vem sendo desenvolvidas para melhorar a qualidade de vida da sociedade (BUARQUE, 2008).

Nesse contexto, no início dos anos de 1970 surgiram as primeiras preocupações sobre o bem-estar intergeracional, com o início das discussões sobre o impacto dos padrões atuais de consumo e produção sobre o bem-estar das gerações futuras. A partir de então emergiu o conceito de desenvolvimento sustentável, seguindo uma série de publicações voltadas para a super exploração do meio ambiente pelo homem, enfocando o desenvolvimento econômico e o crescimento da preocupação global quanto aos objetivos do desenvolvimento e limitações ambientais (NSSD, 2003).

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, ressaltou-se que as questões ambientais haviam se tornado cada vez mais objeto de políticas socioeconômicas, em nível nacional ou internacional. Em 1987, a *World Commission on Environment and Development* (WCED), definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como o “desenvolvimento econômico e social que atenda às necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades.” (BRUNTLAND, 1987, p. 398). E esta busca de equilíbrio entre o que é socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente sustentável é usualmente descrita em função da chamada “*triple bottom line*”, que congrega as dimensões ambiental, social, e econômica do desenvolvimento sustentável.

A partir da década de 1980, metas ambientais passaram a ser definidas em convenções globais como as de Montreal (1987), do Rio de Janeiro (1992) e de Kyoto (1997). A meta do desenvolvimento sustentável ganhou comprometimento e reconhecimento global vinte anos após a reunião em Estocolmo, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) que foi convocada a partir do reconhecimento de que os padrões de

produção e consumo, principalmente nos países desenvolvidos, haviam alcançado níveis insustentáveis, colocando em risco a estabilidade de diversos bens e serviços ambientais que garantem tanto a continuidade das atividades produtivas como a própria qualidade de vida (PNUMA, 2005).

Nessa conferência, estabeleceu-se então a Agenda 21, que seria uma ação global para o século XXI, com uma visão de longo prazo para equilibrar necessidades econômicas e sociais com os recursos naturais do planeta. Desde então, todos os setores da sociedade iniciaram um processo de adoção de políticas públicas impondo requisitos ambientais a inúmeras atividades econômicas e a demanda por produtos ambientalmente menos agressivos cresceu em paralelo. Os padrões internacionais de eficiência ambiental foram se elevando gradativamente e algumas instituições passaram a atrelar a concessão de financiamentos de projetos aos resultados de avaliações ambientais (UNITED NATIONS, 1992).

Dentre as diferentes organizações envolvidas com a questão ambiental, as empresas desempenham um papel importante. Entretanto, o setor industrial é um dos que mais provoca danos ao meio ambiente, seja por seus processos produtivos ou pela fabricação de produtos poluentes e/ou que tenham problemas de disposição final após sua utilização (PORTER e LINDE, 1995).

A combinação de diversos fatores tem se tornado um desafio para as empresas realizarem mudanças em suas práticas no sentido de equacionar os impasses econômicos, ambientais e sociais na direção do desenvolvimento sustentável. De um lado, as empresas enfrentam o aumento da concorrência e a escassez de recursos, e de outro, as empresas se encontram diante da maior reação social e política frente aos problemas das externalidades ambientais causadas pelos impactos ambientais das suas atividades. Por essas questões, as empresas necessitam mudar o seu comportamento para a sustentabilidade (PORTER e KRAMER, 2006).

É dentro deste contexto que a inovação aparece como uma das possíveis ferramentas estratégicas que pode ser implantada pelas empresas, possibilitando mudanças efetivas que tragam maiores ganhos econômicos e possíveis ganhos ambientais. A inovação desenhada em consonância com o meio ambiente permite às companhias fazerem o uso mais adequado de seus meios de produção – desde a matéria-prima até a energia – podendo potencialmente compensar o custo da melhoria ambiental (PORTER e LINDE, 1995). Desse modo, bem como as inovações tradicionais, as inovações ambientais podem possibilitar que a empresa alcance uma maior competitividade (DAROIT e NASCIMENTO, 2000).

O conceito de inovação ambiental ou *eco-innovation* é relativamente recente na literatura da inovação, com início dos anos de 1990. Conforme Kemp e Pearson (2007), a definição de inovação é baseada no Manual de Oslo, com a adição do fator ambiental. Assim, a Eco-inovação é a produção, assimilação e exploração de um produto, processo de produção, de serviços ou de gestão ou de negócios, método que é novo para a organização e que resulta, ao longo de seu ciclo de vida, na redução de risco ambiental¹, poluição e outros impactos negativos da utilização dos recursos, em comparação com alternativas relevantes. Ademais, as inovações ambientais podem advir de esforços deliberados a favor do meio ambiente, ou de um resultado ocasional de uma inovação, sendo, portanto, o desempenho que as qualifica como tal (KEMP e PERSON, 2008).

Portanto, a inovação ambiental é basicamente uma inovação que reduz ou elimina os impactos ambientais causados por determinada firma. Esse impacto pode ser de âmbito local ou até mesmo global e a inovação pode ser desenvolvida de maneira intencional e premeditada pela empresa ou mesmo acidental. Ademais, bem como a inovação tradicional, a inovação ambiental também pode ser incremental ou radical. A inovação incremental ocorre dentro do mesmo paradigma e pode ter efeitos cumulativos importantes no que tange à sustentabilidade com o aprimoramento de produtos ou serviços existentes; enquanto a radical pode gerar rompimentos ou deslocamento nas trajetórias tecnológicas. É importante lembrar que a mensuração da inovação ambiental é uma tarefa bastante complexa, pois a inovação incremental e radical são diferentes dentro de cada setor (HORBACH e RENNINGS, 2012).

Nesse contexto, a inovação ambiental se distingue de outros tipos de inovação ao considerar os benefícios ambientais gerados, que pode ser pelo desenvolvimento de um novo ou modificado processo, produtos, práticas, métodos ou sistemas que contribuam para a sustentabilidade. Além disso, as inovações ambientais apresentam outras características distintivas das demais inovações, tais como a “dupla externalidade” e a existência de determinantes regulatórios com “*push/pull effects*” (RENNINGS e ZWICK, 2003).

Em relação à “dupla externalidade”, a adoção de inovações ambientais gera *spillovers* típicos da maioria das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), que é a externalidade da própria criação de conhecimento e, além disso, podem produzir externalidade de redução de impactos sobre o meio ambiente. Beise e Rennings (2005) apontam que a “dupla externalidade”

¹ Conforme a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)-001, os principais riscos para o meio ambiente podem ocorrer no meio físico (contaminação do solo, de águas, atmosférica e alterações climáticas), no meio biológico e ecossistemas naturais (danos à flora e à fauna) e no meio socioeconômico (interrupção da atividade produtiva e comprometimento futuro de meios produtivos) (DINIZ *et al.*, 2007).

ocorre devido à dificuldade que o inovador enfrenta para se apropriar dos lucros originados de uma inovação se o conhecimento correspondente é facilmente acessado pelos concorrentes e se os benefícios ambientais gerados têm uma característica de “bem público”. Com isso, dado o elevado custo dessas tecnologias em comparação com as tradicionais e o baixo nível de apropriabilidade desses tipos de inovações, a consequência pode ser a redução dos incentivos que as firmas podem ter para investir em inovações ambientais.

Nesse sentido, políticas de inovação podem ajudar a diminuir os custos da inovação ambiental, principalmente nas fases de invenção e de introdução do novo produto no mercado, por meio de suporte financeiro para projetos pilotos e possibilitando a melhoria das características de performance das inovações ambientais na fase de difusão. Desse modo, ao menos na fase de difusão, a política ambiental pode ser responsável por internalizar os custos externos impostos pela competição do novo produto com produtos e serviços não ecológicos (RENNINGS, 2000).

De modo geral, diversos fatores influenciam a adoção de inovação ambiental. Rennings (2000) identifica três fatores determinantes da adoção de inovações ambientais: o desenvolvimento tecnológico (*technology push*), os fatores oriundos da demanda (*demand pull*) e os fatores relacionados ao ambiente regulatório (*regulatory push/pull-effect*). O desenvolvimento tecnológico englobaria questões como qualidade do produto, eficiência energética e material, os produtos disponíveis no mercado. Os fatores oriundos da demanda incluiriam, entre outros, as características do consumidor, a imagem esperada ou construída para a firma, os custos do trabalho, características do ambiente competitivo e dos novos mercados. O ambiente regulatório englobaria as leis ambientais existentes, a expectativa acerca de novas regulações, padrões já estabelecidos para características de processo e produto. Esse fator surge porque a estrutura regulatória e, especialmente, as políticas ambientais têm efeito preponderante de incentivo sobre a inovação ambiental, uma vez que apenas o desenvolvimento tecnológico e a demanda não conseguem ser suficientemente eficazes para incentivar e alavancar este tipo de inovação, tal como os outros tipos de inovação (RENNINGS, 2000).

Complementarmente, Belin *et al.* (2009) indicam que é necessário considerar ainda os determinantes internos da firma identificados como as capacidades tecnológicas acumuladas pela empresa (em especial, a presença de atividade de Pesquisa & Desenvolvimento), o emprego de trabalhadores qualificados e o tamanho da firma. Portanto, as principais especificidades do processo de inovação ambiental referem-se aos fatores determinantes e difusores. A compreensão dos determinantes das inovações ambientais é fundamental para que se identifique de que forma esse tipo de inovação pode ser estimulada a partir de ações em cada

um dos fatores que as influenciam. A regulação ambiental é tida como impulsionadora da utilização e posterior geração de tecnologias ambientais por meio da pressão exercida sobre o setor produtivo. As exigências ambientais influenciam na tomada de decisão da firma ao reduzir a incerteza sobre investimentos ambientais, ajudar na compreensão e incorporação da questão ambiental, criar pressão motivando o progresso tecnológico e sinalizar as companhias sobre potenciais ineficiências de recursos e melhoramentos tecnológicos (KEMP e SOETE, 1992).

1.2 O problema e sua importância

Durante muitos anos, o setor industrial não se atentou para os custos ambientais de seus processos produtivos e nem com os seus desperdícios, inclusive a poluição. Acreditava-se que produzir de maneira ecologicamente correta seria mais oneroso e prejudicaria o desempenho econômico-financeiro das empresas. Entretanto, a adoção de tecnologias possibilitou uma maior eficiência no uso dos recursos naturais e a substituição de insumos no processo produtivo (PORTER e LINDE, 1995).

Em contraponto a essa visão, autores conservacionistas acreditam que os recursos naturais não podem ser perfeitamente substituíveis, pois possuem características particulares, ou seja, sua reprodução por sistemas produtivos é bem difícil ou mesmo impossível, pois o consumo destes recursos contém certo grau de irreversibilidade e, portanto, o consumo atual redundaria na impossibilidade das gerações futuras disporem da base atual de recursos naturais (YOUNG, 2007).

Nesse contexto, Porter e Linde (1995) argumentam que as regulações ambientais podem induzir as firmas a buscarem oportunidades tecnológicas ainda inexploradas. Um choque externo como uma nova restrição ambiental estimula a busca por novos caminhos que levam a oportunidades de lucro não identificadas anteriormente. Desse modo, uma regulação ambiental mais rigorosa e específica pode incentivar as empresas a buscarem inovações que minimizem o impacto ambiental e que compensem, até mesmo, o custo de conformidade com os padrões estipulados se utilizassem outras formas. Portanto, a regulação caracteriza uma situação “*win-win*”, tal qual definida pela Hipótese de Porter (PORTER e LINDE, 1995), pois ela é capaz de gerar benefícios econômicos e ambientais ao mesmo tempo.

Dessa forma, Porter e Linde (1995) apontam ainda que a imposição de regulações ambientais apropriadas pode induzir as firmas a adotarem inovações que, no mínimo, compensarão os custos de cumprimento com tais normas. Por exemplo, para cumprir com a regulação, as firmas podem reutilizar os resíduos industriais em vários casos como cogeração

de energia, reutilização de substâncias e reciclagem de materiais. Portanto, o uso mais racional dos recursos através da introdução de inovações pode potencialmente levar ao aumento da produtividade e da competitividade da firma.

Em particular, a indústria brasileira, até a década de 1980, passava por uma fase de crescimento acelerado devido ao desenvolvimento econômico brasileiro. Entretanto, essa industrialização foi marcada por um relativo descaso com a questão ambiental, resultando na participação elevada de setores potencialmente poluidores na composição do produto industrial (IBGE, 2001).

Somente, a partir da década de 1990, a questão ambiental ganhou espaço nas preocupações sociais das empresas brasileiras ao perceber o crescente interesse e preocupação da sociedade com o meio ambiente. Entretanto, as exceções ainda foram as empresas que sofreram alguma pressão para fazê-lo: das regulações de outros países em relação ao produto exportado, como no caso das grandes empresas exportadores do setor de papel e celulose, e das regulações nacionais, que forçaram as empresas a diminuir os impactos ambientais de suas atividades (CNI, 2012).

Na década de 1990, iniciou-se também a discussão sobre o papel da regulação ambiental e seus impactos sobre a competitividade industrial. O argumento central da discussão é que a imposição de regulações ambientais adequadas pode induzir inovações que irão, em parte ou mais do que totalmente, compensar os custos² de adequar-se a tais regulações. Assim, a preservação ambiental poderia estar associada ao aumento da produtividade dos recursos utilizados na produção e, conseqüentemente, ao aumento da competitividade da empresa (PODCAMENI, 2007).

A produtividade, particularmente da indústria de transformação brasileira, também transformou-se em questão de grande interesse nos anos de 1990, dadas as modificações pelas quais passou a economia brasileira. De acordo com Salm *et al.* (1997) existem, na abordagem tradicional, duas formas para se medir a produtividade – a da produtividade total dos fatores de produção e a da produtividade parcial. A segunda, que se refere a um fator de produção ou insumo, é a mais utilizada, pois exige menos informações estatísticas. Neste caso, o mais comum é utilizar-se a produtividade do trabalho, que é a relação entre o valor agregado e o número de horas trabalhadas ou de pessoas ocupadas. Cavalcante e De Negri (2014) apontam que a produtividade do trabalho manteve, nas décadas de 1990 e 2000, uma trajetória de crescimento estável, porém reduzido. Ainda que os diferentes métodos utilizados para ajustar

² Porter e Linde (1995) referem-se aos custos privados de cumprir com as regulações ambientais e não aos custos do sociais (despesas do Estado) em impor tais regulações.

as séries de pessoal ocupado (PO) possam levar a resultados um pouco diferentes, a ordem de grandeza da taxa de crescimento da produtividade do trabalho medida com base no valor agregado no Brasil é de 1%, ao longo das duas últimas décadas. Desse modo, os investimentos em inovação são fatores correlacionados com a produtividade do trabalho e podem contribuir para sua melhoria no futuro.

Nesse contexto, o processo concorrencial das empresas nas economias capitalistas gera uma necessidade de diferenciação permanente em relação aos seus concorrentes. A busca desta diferenciação passa pelo processo de inovação – ao ter o domínio de uma nova técnica de produção ou de um novo produto, a empresa passa a auferir vantagens econômicas, sejam lucros extraordinários ou manutenção de sua parcela de mercado. Assim, na medida em que a preservação do meio ambiente tornou-se um fator de diferenciação para as empresas, caracterizando-se como uma oportunidade de negócios, surgiu a possibilidade de incluir preocupações ambientais em suas estratégias empresariais, por meio de práticas ecologicamente mais adequadas – adoção de tecnologias ambientais, implantação de sistema de gestão ambiental, racionalização do uso dos recursos naturais, entre outros (YOUNG e LUSTOSA, 2001). Ademais, as firmas passaram a perceber que quanto menor a quantidade de resíduos gerados, melhor seria a utilização dos insumos, isto é, uma melhoria da produtividade dos recursos representaria redução dos custos e do risco, bem como influenciaria na lucratividade.

Alguns estudos, como o de Almeida *et al.* (2004), confirmam que as exigências impostas pela legislação brasileira ainda são o principal fator determinante do investimento ambiental nas empresas. Segundo o autor, a maioria das empresas ainda restringe sua responsabilidade ambiental ao cumprimento da legislação ambiental e em resposta às multas e sanções. Porém, as crescentes exigências do mercado e a competitividade entre as empresas fazem com que a adoção de princípios ambientais torne-se condição necessária à sobrevivência das empresas. A implementação crescente da gestão ambiental no país, inclusive por meio da certificação de acordo com as normas ISO 14001, espelhou a preocupação das empresas brasileiras com seus problemas internos relativos ao meio ambiente. Porém, a certificação ambiental serviu como um instrumento de *marketing* ecológico, não apresentando o mesmo impulso no esforço de certificação por parte das empresas (LUSTOSA, 2002). Portanto, a regulação aparece como forte indutora da inovação ambiental.

Em relação à evolução e ao perfil da indústria brasileira, pesquisas apontam que, em geral, as empresas industriais têm demonstrado maior preocupação com o impacto ambiental de suas atividades, o que se reflete em investimentos e inovações ambientais. Esse processo pode ser considerado resultante tanto dos incentivos criados para o controle ambiental e das

exigências de cumprimento de normas ambientais, quanto de outros fatores no nível das firmas (FONTES, 2012). Em 1998, em uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI), revelou que metade das empresas pesquisadas realizou investimentos ambientais no período, variando cerca de 90% nas grandes empresas a 35% nas microempresas. A pesquisa mostrou que as razões para a adoção de práticas de gestão ambiental (das 1451 empresas analisadas, quase 85% das empresas pesquisadas adotam algum tipo de procedimento associado à gestão ambiental, como diminuição de gases e emissões, reutilização de resíduos industriais, redução no consumo de energia, reciclagem e controle de ruídos, entre outras medidas) não foram apenas em função da legislação, mas também por questões que poderiam estar associadas à gestão ambiental (SEIFFERT, 2007).

Dentro desse contexto, os determinantes do investimento ambiental para o caso brasileiro, podem ser analisados a partir dos fatores que induzem as firmas a adotarem práticas mais ambientalmente sustentáveis. Em âmbito nacional, o comportamento das empresas e dos setores industriais brasileiros em relação às questões ambientais e sua produtividade tem sido alvo de estudos recentes (Ferraz e Seroa da Motta (2001); Young e Lustosa (2001); Podcameni e Queiroz (2014); Lucchesi *et al.* (2014)). Esses estudos apontaram que as características das firmas, como o tamanho da firma, a intensidade de exportações, as forças internas e as regulações são os fatores que mais se destacam para a adoção de inovação ambiental pela firma.

No entanto, as inovações ambientais feitas pela indústria brasileira também podem estar relacionadas a outros fatores, tais como o apoio do governo para financiamento, os arranjos cooperativos, as pressões oriundas da demanda, ao seu desempenho produtivo e às especificidades regionais, o que evidencia a busca da compreensão dos padrões tecnológicos do país e de cada tipo de atividade industrial e sua possível heterogeneidade setorial.

Apesar do crescente esforço na busca de compreender as questões relativas às inovações ambientais e seus efeitos sobre a produtividade, observou-se que ainda não há um consenso, na literatura empírica, sobre o efeito das inovações ambientais e da regulação sobre a produtividade, uma vez que alguns estudos mostraram que a produtividade é afetada de forma positiva pelas inovações ambientais e pela regulação [Podcameni e Queiroz (2014); Marin (2014); Doran e Ryan (2012); Rexhäuser e Rammer (2011)], enquanto outros estudos não encontraram nenhum efeito das inovações ambientais sobre a produtividade [Leeuwen e Mohnen (2013)] ou ainda que as inovações ambientais afetam a produtividade de forma negativa [Soltmann *et al.* (2013)].

Diante disso, o presente estudo buscou avançar no debate sobre as inovações ambientais por meio de uma análise empírica a respeito dos determinantes e da produtividade das firmas

brasileiras que introduziram as questões ambientais em suas estratégias inovativas, no intuito de avaliar se as inovações ambientais podem ser vistas como uma oportunidade de melhora na performance econômica, de modo a relativizar o *trade-off* entre desempenho ambiental e produtividade, incentivando as inovações e a produtividade dos recursos. Portanto, além de ser uma contribuição do trabalho em relação à literatura disponível para o Brasil utilizar a variável de inovação ambiental no modelo proposto por Crépon, Duguet e Mairesse (1998), conhecido como modelo CDM, apresentando uma extensão desse modelo por considerar a inovação com redução de impacto sobre o meio ambiente; uma outra contribuição do estudo consiste na aplicação do modelo empírico tanto para a indústria como um todo quanto para quatro grupos diferentes de setores de atividade da indústria de transformação definidos pela intensidade tecnológica “baixa”, “média-baixa”, “média-alta” e “alta”, afim de verificar a relação entre a adoção de inovações ambientais com as possíveis especificidades setoriais dessas firmas.

Nesse sentido, no caso das inovações ambientais, as características setoriais são ainda mais importantes, pois alguns determinantes exercem diferentes influências dentro de cada setor. Por exemplo, a regulação ambiental pode ser um dos principais determinantes da inovação ambiental em setores altamente poluentes, pois pode induzir as firmas a introduzirem produtos e processos menos danosos ao meio ambiente. Por outro lado, em outros setores, os principais fatores que induzem às inovações ambientais podem ser relacionados à busca por eficiência produtiva e aumento da competitividade. Por isso, analisar as inovações ambientais em quatro níveis mostra um avanço ao buscar entender os padrões tecnológicos frente à maior parte dos estudos empíricos analisados que não consideraram essa questão.

Cabe ressaltar que a análise é voltada para a indústria de transformação, tanto por englobar as atividades de maior impacto ambiental na cadeia produtiva do país quanto por facilitar a comparação com evidências empíricas já explanadas em outros trabalhos. E o período de análise consiste na utilização das cinco edições da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC): PINTEC 2000 (referente ao período entre 1998 e 2000), PINTEC 2003 (referente ao período entre 2001 e 2003), PINTEC 2005 (referente ao período entre 2003 e 2005), PINTEC 2008 (referente ao período entre 2006 e 2008) e PINTEC 2011 (referente ao período entre 2009 e 2011) combinadas com as Pesquisas da Indústria Anual (PIAs) de 2000 a 2011, o que possibilitou a criação de um painel de 12 anos referente ao período de 2000 a 2011.

A tese está dividida em quatro capítulos, além dessa introdução e das conclusões. O Capítulo 2 compreende a abordagem teórica e da literatura empírica sobre a inovação pela visão clássica e pela visão evolucionária, a relação desta com a produtividade, a conceituação de inovação ambiental, bem como a relação entre competitividade e meio ambiente. O Capítulo 3

apresenta a revisão de literatura com ênfase nos determinantes da inovação ambiental e na relação entre a inovação ambiental e a produtividade. O capítulo 4 apresenta a metodologia e a estratégia empírica da pesquisa, e, por fim, o Capítulo 5 analisa os resultados encontrados através das estatísticas descritivas e das estimações econométricas.

1.3 Hipótese

Além da importância da regulação, a adoção de inovações ambientais pela indústria de transformação brasileira é altamente influenciada pelas especificidades setoriais e pelas características das firmas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Analisar os fatores determinantes da adoção de inovações ambientais e o seu impacto sobre a produtividade na indústria de transformação brasileira no período de 2000 a 2011.

1.4.2 Objetivos Específicos

- (i) Verificar empiricamente os fatores que induzem as firmas a realizarem investimento ambiental;
- (ii) Comparar os fatores que levam as firmas a adotar inovação ambiental e/ou adotar inovação convencional³;
- (iii) Avaliar o impacto das inovações ambientais sobre a produtividade das empresas da indústria de transformação brasileira.

³ Para distinguir os conceitos, o presente estudo define a inovação tecnológica como inovação “convencional” e essa terminologia será utilizada ao longo do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo abordar o referencial teórico da inovação convencional e da inovação ambiental, dos fatores que afetam a adoção de inovação e a relação entre inovação e produtividade. Desse modo, o capítulo está dividido em cinco seções. A primeira seção aborda a visão neoclássica da inovação. A segunda seção aborda a visão da inovação pela teoria evolucionária. A terceira seção apresenta a inovação com abordagem ambiental. A quarta seção aborda a relação entre inovação e produtividade. Por fim, a quinta seção aborda a competitividade e o meio ambiente com ênfase na hipótese de Porter.

2.1 A Inovação pela visão Neoclássica

O enfoque neoclássico sobre a inovação se inicia pela função de produção, em que diferentes insumos, como trabalho e capital ou outros recursos (matéria-prima, energia, etc.) são transformados em produtos. Para os neoclássicos, várias combinações de fatores são tecnicamente viáveis e os agentes econômicos são movidos pela racionalidade substantiva, para as quais o comportamento das empresas era pré-determinado segundo o princípio da maximização de lucros. Esse conceito supõe um perfeito conhecimento do mercado pelos agentes econômicos (ELSTER, 1983).

O argumento teórico neoclássico metodologicamente centra sua abordagem em dois aspectos fundamentais: o equilíbrio e a análise estática. A análise de equilíbrio significa que o sistema econômico apenas ajusta-se às mudanças geradas externamente, mas sem alterar os seus parâmetros estruturais. Alcançar o equilíbrio significa que as forças econômicas que anteriormente causaram sua perturbação cessaram de produzir seus efeitos. Não há tendência a mudanças. Elas, quando ocorrem, não se devem a movimentos endógenos, próprios do funcionamento da economia, mas de eventos que são estranhos a ela (WALRAS, 1983).

Na teoria neoclássica tradicional, o foco de interesse permanece vinculado à teoria dos preços e alocação de recursos. A firma é vista como uma “caixa preta”, que combina fatores de produção disponíveis no mercado para produzir produtos comercializáveis. O mercado, embora possa apresentar situações transitórias de desequilíbrio, tende a estabelecer condições de concorrência e informações perfeitas. A firma se depara com um tamanho “ótimo” de equilíbrio. As possibilidades tecnológicas são usualmente representadas pela função de produção, que especifica o resultado da combinação possível de fatores. As tecnologias estão

disponíveis no mercado, seja através de bens de capital ou no conhecimento incorporado pelos trabalhadores (TIGRE, 2005).

Desse modo, a análise interna da firma não constitui uma questão relevante, pois em situação de concorrência perfeita, e na ausência de progresso técnico, a firma teria pouca escolha a fazer. Sua única função é transformar insumos em produtos, e para isso basta selecionar a técnica mais apropriada e adquirir os insumos necessários no mercado, incluindo trabalho e tecnologia. O ambiente competitivo é simples e inerte, praticamente sem incertezas (WALRAS, 1983).

2.1.1 Demand-pull (Demanda Induzida)

A teoria neoclássica de inovação enfatiza que as empresas são maximizadoras de lucro, de modo que elas inovam com base no lucro esperado, e, portanto, quanto maior o lucro esperado e menor o custo da inovação mais elas irão inovar. Além disso, a teoria neoclássica destaca a importância do fator da demanda de mercado sobre o processo inovativo, sendo a demanda um fator adicional, além do conhecimento básico, a estimular a atividade inovadora e determinar o tempo e a localização da inovação (GRILICHES, 1957). Desse modo, a difusão da inovação depende não apenas da lucratividade da adoção, mas também do tamanho do investimento necessário para ela, o potencial do mercado e o custo do investimento, de modo que quanto menor o custo do investimento, maior o ritmo da adoção (ROSENBERG, 1983).

Uma segunda teoria enfatiza mudanças nos preços relativos aos fatores⁴ como um estímulo para a inovação, com o objetivo de economizar o uso do fator que se tornou caro (HICKS, 1932), ou mesmo para reduzir o custo total (SALTER, 1960; AHMAD, 1966). Esta teoria ficou conhecida como Teoria das Inovações Induzidas (TII) e foi uma tentativa de avanço teórico no sentido de endogeneizar a mudança técnica efetuada pela corrente neoclássica. Os seus fundamentos estão em Hicks (1932), que apontou para o caráter não neutro do progresso técnico, induzido por mudanças nos preços relativos dos fatores, que por sua vez resultariam de mudanças na escassez relativa. Segundo Hicks (1932), os estímulos principais para que uma

⁴ David (1975) desenvolveu um modelo onde os preços relativos dos fatores afetam a escolha entre as tecnologias existentes e essas escolhas também afetam a trajetória tecnológica subsequente. Ou seja, o que ocorre é um encadeamento de longo prazo determinando o direcionamento das inovações, tendo influências, também, do preço dos fatores. Uma explicação para o encadeamento é que as competências que se adquire ao escolher uma inovação dentro das existentes faz com que algumas inovações subsequentes sejam mais fáceis de serem escolhidas pois estão na mesma área de conhecimento, de modo que o acúmulo de experiências seja favorável à adoção de um encadeamento. David sugere que esse encadeamento, embora não seja o único determinante, pode ser um elemento historicamente mais importante para explicar a trajetória da inovação dos países do que a racionalidade da busca de otimização.

firma realize inovações tecnológicas são as mudanças nos preços relativos dos fatores de produção (capital e trabalho) e o intuito da inovação seria o de economizar o fator de produção cujo preço fosse relativamente maior. Neste contexto, associam-se os estímulos de mercado ao desenvolvimento de novas técnicas, sendo, dessa forma, induzida a inovação (HICKS, 1932).

Nesse sentido, o ponto de partida teórico do modelo de inovações induzidas é a concepção de progresso técnico induzido de Hicks. No entanto, sua elaboração apoiou-se nos trabalhos de outros autores que desenvolveram modelos explicativos a partir das ideias fundamentais de Hicks. Entre eles cabe citar particularmente Ahmad (1966). No modelo de Ahmad, é concebida uma curva de possibilidades de inovações (IPC), que contém todas as isoquantas alternativas disponíveis para o empresário. Essa curva de possibilidades de inovações, que tende a ser neutra⁵, é definida a partir de fatores puramente técnicos. Os fatores econômicos somente intervêm na escolha da isoquantas no interior da IPC. Ademais, quanto mais o trabalho se torna escasso, mais poupadora de trabalho (*labor-saving*) tenderá a ser a isoquanta escolhida e vice-versa. A inovação poupadora de capital pode ser definida de forma semelhante.

Supõe-se que o custo e o tempo de deslocamento de uma isoquanta para outra no interior de uma mesma IPC são os mesmos que aqueles requeridos para se mover em direção à IPC do período seguinte, a qual é tecnicamente mais avançada. Desse modo, a cada mudança nos preços relativos, o deslocamento em busca de uma nova combinação de fatores mais favorável não ocorrerá no interior da mesma IPC, mas em direção à IPC tecnicamente mais avançada. Portanto, para Ahmad (1966) o movimento de ajuste implica a evolução do “fundo de conhecimentos técnicos” que dá configuração de cada IPC. Assim, para isolar o efeito das mudanças no preço dos fatores sobre a natureza da inovação, Ahmad (1966) assume que não há viés tecnológico na inovação ou que curva de possibilidade de inovação histórica é neutra. A curva de possibilidade de inovação histórica pode ser chamada de neutra se a inovação em resposta a qualquer mudança no preço relativo do fator no tempo n (o momento em que a *enésima* inovação é contemplada) é neutra para a inovação em resposta ao mesmo preço relativo do fator no tempo $(n - 1)$.

A Figura 1 apresenta esse argumento, em que o trabalho e o capital são traçados nos dois eixos, a curva de possibilidade de inovação histórica do período $(n - 1)$, C_{n-1} , é neutro

⁵ Uma inovação é neutra se a nova (pós-invenção) e as antigas isoquantas (pré-invenção) correspondem a qualquer produto de mesma proporção de combinação de fator para cada relação de preços de fatores, quando os custos são minimizados em cada caso. Em outras palavras, se estas isoquantas têm as características de duas isoquantas de uma função de produção linear e homogênea, a inovação é neutra (AHMAD, 1966).

para C_n , a curva de possibilidade de inovação histórica do período n . A relação do preço dos fatores, quando a $(n - 1)$ -ésima inovação foi contemplada, foi $P_{n-1}P_{n-1}$. A $(n - 1)$ -ésima inovação é por conseguinte representada pela isoquanta I_{n-1} . Entretanto, desde que a $(n - 1)$ -ésima inovação e o preço do trabalho tenha subido relativamente, a nova linha de preço é agora representada por P_nP_n . Conforme apontado anteriormente, C_{n-1} torna-se irrelevante para as decisões econômicas uma vez que uma isoquanta sobre ela é escolhida. Portanto, o que todas as firmas podem fazer até a próxima inovação prevalecer é escolher um outro ponto em I_{n-1} onde a nova linha de preço é tangente a ela. Isto, naturalmente, é o caso de substituição de fator. A possibilidade da próxima inovação é representada por C_n , e a inovação que seria escolhida em resposta aos preços praticados $P'_nP'_n (=P_nP_n)$ é a representada pela isoquanta I'_n .

Desse modo, a neutralidade da curva de possibilidade de inovação histórica garante que I_n seja neutra para I_{n-1} , sendo as duas uma resposta para a mesma proporção do preços dos fatores. A isoquanta escolhida no período n é, no entanto, I'_n e não I_n , sendo I'_n mais poupadora de trabalho do que I_n , já que quando ocorre o movimento ao longo da mesma curva de possibilidade de inovação sua convexidade garante que a inovação em resposta a um relativamente aumento no preço de um fator seria utilizar menos desse fator. Como I_{n-1} é neutra para I_n , quando I'_n é poupadora de trabalho quando comparada com I_n , I'_n será também poupadora de trabalho quando comparada com I_{n-1} . Portanto, um aumento do preço do trabalho levaria a uma inovação que é necessariamente poupadora de trabalho, se a possibilidade de inovação for tecnologicamente não tendenciosa. Por outro lado, se a possibilidade inovação histórica é tendenciosa para uma direção ou para outra a resposta a uma mudança no preço relativo dos fatores ainda será uma tendência de economizar o fator que tornou-se relativamente mais caro, mas esta tendência será modificada pelo viés da possibilidade inovação histórica.

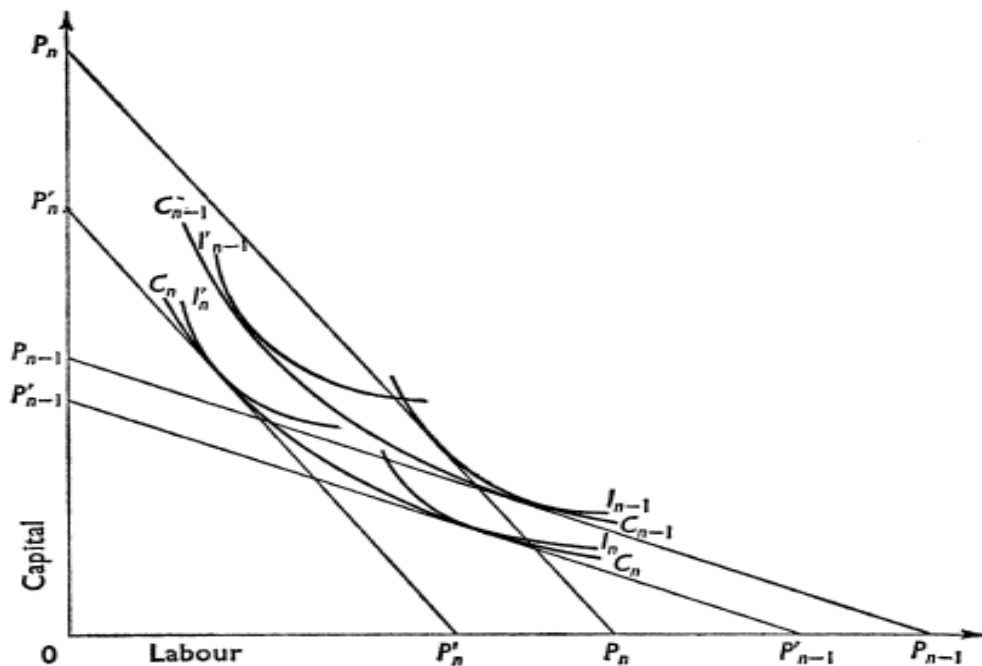


Figura 1 – Curva de possibilidades de inovações (IPC)

Fonte: Ahmad (1966).

Para ampliar o quadro de análise de Hicks, Hayami e Ruttan (1985), com base em um teste empírico do modelo, fundamentam-se nas experiências históricas de modernização agrícola do Japão e dos Estados Unidos. No primeiro caso, a escassez relativa de terra teria gerado um padrão de modernização poupadora de terra (*land-saving*); no segundo caso, ao contrário, a escassez de mão de obra teria sido a responsável por um padrão tecnológico poupador de trabalho (*labor-saving*). Hayami e Ruttan (1985) consideram que, dada a amplitude das mudanças históricas observadas nas proporções entre fatores de produção nas duas economias, seria pouco provável que estas tivessem resultado de simples substituições de fatores ao longo de uma isoquanta. Assim, se as variações nas proporções relativas dos fatores de produção são explicadas de modo consistente pelas mudanças nos seus preços relativos, seria possível deduzir que o progresso técnico observado foi induzido por estas. Nesse sentido, ao analisarem as inovações como alternativa para a escassez de recursos e altos custos com mão de obra na agricultura, os autores apontam que essas tecnologias teriam a função de facilitar a substituição de fatores relativamente escassos (portanto, onerosos) por outros relativamente abundantes (e, portanto, baratos). Nesse sentido, as firmas poderiam aumentar os seus ganhos em produtividade e, portanto, os seus lucros.

Portanto, a ideia básica da TII baseia-se no fato de a alocação de recursos na atividade inovativa (inventiva) ser governada pelas mesmas forças de mercado (através da interação entre oferta e demanda), questão premente na economia neoclássica. Na realidade, trata-se de uma

síntese preliminar da *demand-pull* (as inovações puxadas pela demanda, ou seja, a demanda orienta a produção de bens, que estimula a aplicação de recursos para maximizar a produção daquele bem ou serviço altamente demandado, num processo em que prevalecem a racionalidade maximizadora do enfoque neoclássico e a expectativa de lucro como força fundamental para a atividade inovadora) (SCHMOOKLER, 1966). Assim, esta teoria contribuiu para a formulação de novas abordagens neoclássicas quanto ao tratamento da mudança tecnológica, em particular, da *demand-pull* – um segmento dessa linha de pensamento (GRILICHES, 1979).

Desse modo, no contexto em que o mercado define o processo de relação e de difusão e condiciona a geração de inovações, na medida em que estabelece o padrão de estímulos e sanções as estratégias inovadoras dos agentes privados, surge uma abordagem para explicar a introdução das inovações na economia, sendo denominada de teoria da demanda induzida (*demand pull*⁶). Conforme Dosi (1982), a visão teórica *demand pull* demonstra que unidades produtivas percebem as necessidades do mercado e buscam satisfazer essas necessidades mediante avanços tecnológicos. Assim, existe a possibilidade de se conhecer a direção na qual o mercado está encaminhando a atividade produtiva, além do que, há uma constante sinalização aos produtores através dos meios de movimentos de preços relativos e quantidades.

As principais limitações em relação a esta abordagem centram-se em alguns aspectos principais: a reação passiva e mecânica da mudança tecnológica às condições de mercado; a incapacidade de explicar o tempo das inovações e a descontinuidade de seus padrões e para responder o porquê e quando determinadas tecnologias são desenvolvidas em vez de outras e em determinado momento em vez de outros; e, a negação das mudanças na capacidade inovativa ao longo do tempo sem ter qualquer relação direta com as mudanças de mercado, desconsiderando a complexidade e a incerteza no processo inovativo (DOSI, 1982).

Cabe ressaltar que a não consistência teórica da ideia de resposta automática às condições de mercado é, de fato, um ponto a ser ressaltado sobre o modelo de *demand-pull*. Todavia, Rosenberg (1969) salientam a sutileza dessa crítica, ou seja, não se trata de desprezar a influência do mercado sobre as inovações e, sim, de torná-las fundamentais para o processo inovativo. Ademais, no caso de mudança tecnológica, diferentes doses de risco, incerteza e externalidades devem ser consideradas, haja vista a própria complexidade dos

⁶ São as forças do mercado que determinam a mudança tecnológica, ou seja, em função da sinalização das necessidades do mercado, as unidades produtivas realizam um esforço de desenvolvimento tecnológico para que as inovações atendam essas necessidades (DOSI, 1982). O progresso técnico era determinado pelo lado da demanda através das preferências indicadas pelos consumidores.

desenvolvimentos técnicos. O modelo de *demand-pull*, mesmo que permita, em alguns casos, a introdução de elementos de risco e variáveis estocásticas (SALLES FILHO e SILVEIRA, 1990), trabalha principalmente com o sentido da racionalidade maximizadora, na qual a expectativa de lucro é uma força fundamental para a atividade inovadora.

Em relação ao papel das políticas públicas no contexto da demanda induzida, estudos que abordam as políticas de demanda iniciaram-se nas décadas de 1950 e 1960 e afirmavam que o fator demanda determina a direção da inovação e desenvolvimento de uma tecnologia, e assim caberiam às políticas de demanda alterar as condições de mercado e privilegiarem uma determinada tecnologia. Neste sentido, cria-se a oportunidade para as empresas investirem nesta inovação e aumentam-se as expectativas de sucesso da tecnologia nascente (NEMET, 2009; ROSENBERG, 1969; GRILICHES, 1957; SCHMOOKER, 1962, 1966).

Assim, as ações governamentais para incentivar às empresas em investir em inovação podem aumentar os retornos de inovações bem sucedidas. As principais ações na linha das políticas públicas de demanda induzida são: proteção à propriedade intelectual, descontos em taxas e impostos na aquisição de novas tecnologias pelos consumidores, padrões regulatórios, impostos sobre tecnologias concorrentes e demanda governamental pelas novas tecnologias. Uma justificativa para estas medidas é que os inventores precisam ser compensados, pois nem todos os benefícios de suas invenções são apropriáveis. Outra justificativa consiste da presença da inovação pós-adoção, em que as oportunidades de realizar melhorias técnicas sem custos surgem de experiências das empresas na indústria de transformação, de modo que essas melhorias são exclusivamente disponíveis a partir de experiências e não podem ser substituídas por investimentos em P&D e esses tipos de melhorias incrementais são importantes, uma vez que elas são responsáveis por uma quantidade substancial de melhorias para aumentar o desempenho de redução de custo em muitas tecnologias (ARROW, 1962a). Esse argumento para justificar políticas de demanda induzida se baseia na medida em que P&D pode ser substituído por *learning-by-doing* e *learning-by-using*, bem como a produtividade de cada um em estimular a inovação (ARROW, 1962b).

2.1.2 *Technology-push* (Oportunidade Tecnológica)

Além do tamanho do mercado e dos preços relativos dos fatores enfatizados pela demanda induzida, a teoria neoclássica considera ainda a abordagem da *technology-push* (oportunidade tecnológica), na qual a tecnologia é um fator autônomo ou quase-autônomo, pelo menos no curto prazo. Ou seja, a inovação torna-se uma variável não aleatória, sendo o processo

de desenvolvimento tecnológico que definirá a próxima inovação (DOSI, 1982). O progresso técnico era determinado pelo lado da oferta, principalmente através da dinâmica de inovações determinadas pelo avanço do conhecimento científico e pelas atividades de em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) industriais.

O modelo teórico de Cohen e Levinthal (1989) demonstra como o conhecimento tecnológico de uma empresa pode ser gerado através da realização de investimento em P&D. O ponto central do modelo é a determinação de estoque de conhecimento da firma. O estoque de conhecimento anterior da firma influencia a sua capacidade de absorção. Uma base de conhecimento anterior é composta por todos os conhecimentos acumulados ao longo do tempo pela firma. Cohen e Levinthal (1990) argumentam que o conhecimento anterior, também chamado de conhecimento interno, é crucial no desenvolvimento e na aquisição de novos conhecimentos e, portanto, o nível de conhecimentos anteriores (tais como experiência de aprendizagem) é uma importante variável que afeta a capacidade de absorção, interferindo diretamente na capacidade das firmas inovarem. Assim, os autores reconhecem que o estoque de conhecimento anterior possibilita o aumento de associações entre o conhecimento anterior já existente na firma e o novo conhecimento. Os autores representam os acréscimos de estoque de conhecimento científico e tecnológico para as i firmas por z_i , e assume-se que z_i aumenta a receita bruta da firma, Π^i (ou seja, $\Pi_{z_i}^i > 0$), mas a uma taxa decrescente (ou seja, $\Pi_{z_i z_i}^i < 0$). A representação de z_i pode ser verificada na expressão (1),

$$z_i = M_i + \gamma_i(\theta \sum_{j \neq i} M_j + T) \quad (1)$$

em que M_i é o investimento em P&D da firma; γ_i é a fração de conhecimento no domínio público que a firma pode assimilar e explorar, e representa a capacidade de absorção da firma; θ é o grau de *spillovers* intra-indústria; e T é o nível de conhecimento extra-indústria. Outros investimentos das empresas em P&D, representado M_j para $j \neq i$, também contribuem para z_i . O grau em que o esforço de pesquisa de uma empresa pode se espalhar para um estoque de conhecimento potencialmente disponível para todas as outras empresas é caracterizado por θ onde $0 \leq \theta \leq 1$. Um valor θ de 1 (um) significa que o esforço de P&D de uma empresa aumenta o estoque de conhecimento à disposição de outras empresas pelo valor total de P&D da empresa. Um valor de 0 (zero) significa ausência de *spillover*: os benefícios da pesquisa são exclusivamente apropriados pela empresa que realizou a pesquisa. Os fatores exógenos, tais como, por exemplo, os fatores institucionais ligados à política de patentes moldam θ , uma vez que uma maior garantia de direitos de propriedade intelectual, como as patentes, deve gerar incentivos à transferência de tecnologia.

Assume-se que $0 \leq \gamma_i \leq 1$. Quando $\gamma_i = 1$, a empresa absorve todo o conhecimento que está no domínio público. Alternativamente, quando $\gamma_i = 0$, a empresa absorve nenhum. Assume-se ainda que investimentos em P&D feitos pelas próprias firmas aumentam a capacidade de absorção, $\gamma_M > 0$, embora a uma taxa decrescente, $\gamma_{MM} < 0$. Apesar de não ser formalmente capturado pelo modelo apresentado que é considerado estático, γ é cumulativamente construído através do passado, bem como atual esforço de P&D.

Cohen e Levinthal (1989) consideraram ainda que γ_i é uma função não somente de M_i , mas também de uma variável β (ou seja, $\gamma_i \equiv \gamma(M_i, \beta)$) que é determinada pelas características do conhecimento científico e tecnológico subjacente que afetam a facilidade de aprendizagem a partir do ambiente. A variável, β , reflete as características do conhecimento externo que fazem o investimento em P&D uma situação crítica para a manutenção e o desenvolvimento da capacidade de absorção, de forma que um nível mais alto indica que a capacidade da empresa para assimilar o conhecimento externo é mais dependente do seu próprio P&D. Quando o conhecimento externo é menos direcionado às necessidades e preocupações particulares da empresa, o P&D próprio de uma empresa se torna mais importante e permite à empresa reconhecer, assimilar e explorar conhecimentos valiosos.

Nesse sentido, a *technology-push* é outro determinante do P&D que pode ser pensado como muito caro para a empresa para alcançar avanço técnico em uma determinada indústria. Cohen e Levinthal (1989) incorporaram dois determinantes de oportunidade tecnológica ao modelo. Um deles é a quantidade de conhecimento tecnológico extra-indústria, representada pela variável T . Exemplos de T incluem a produção de conhecimento por laboratórios governamentais ou universitários, ou o conhecimento adquirido por meio de fornecedores de equipamentos. Tal como a assimilação de P&D dos concorrentes, a assimilação de conhecimento externo por uma empresa está limitado pela sua capacidade de absorção. Outra dimensão da oportunidade tecnológica, representada pela variável f , é o grau em que novos conhecimentos, z , que melhoram o desempenho tecnológico dos processos de fabricação ou produtos da empresa. Assume-se que quanto mais o conhecimento contribui para o desempenho tecnológico, mais ele aumenta o lucro (ou seja, $\Pi_{zif}^i > 0$).

No modelo, assume-se que existem n empresas na indústria com políticas simétricas de P&D. Cada empresa escolhe o seu nível de P&D para maximizar os lucros, considerando os níveis de P&D das outras empresas como dado. Assim, os autores modelaram um equilíbrio simétrico nos níveis de P&D. Por conseguinte, as empresas antecipam o efeito de mudanças em seus investimentos em P&D sobre os níveis de conhecimento dos seus concorrentes e, por sua

vez, os efeitos destas alterações nos próprios lucros das empresas. Como resultado, o lucro da empresa é função não apenas do seu próprio conhecimento, z_i , mas do conhecimento tecnológico de todas as empresas da indústria. Para refletir o efeito da rivalidade, supõe-se que um aumento no conhecimento de um concorrente diminui tanto os lucros da firma i e o benefício marginal da firma i de aumentar o seu nível de conhecimento de modo que $\Pi_{z_j}^i < 0$, e $\Pi_{z_i z_j}^i > 0$, onde z_j representa a mudança no nível de conhecimento de um concorrente. Quando o conhecimento tem um grande impacto no desempenho tecnológico, um aumento dos níveis de conhecimento dos concorrentes é mais prejudicial aos próprios lucros (ou seja, $\Pi_{z_i f}^i < 0$). Além de ser uma função de aumento para os níveis de conhecimento das empresas, assume-se que o lucro devido ao P&D também é uma função das condições da demanda.

Diferenciando Π^i com respeito aos rendimentos M_i tem-se a expressão (2):

$$R \equiv \Pi_{z_i}^i [1 + \gamma_{M_i} (\theta \sum_{j \neq i} M_j + T)] + \theta \sum_{j \neq i} \gamma_j \Pi_{z_j}^i \quad (2)$$

A função R é o retorno marginal do próprio P&D. Derivando esta expressão para cada empresa e igualando o custo marginal ao P&D, gera-se um conjunto de equações que caracterizam a política de P&D ótima da empresa dado os níveis de P&D dos seus concorrentes. Quando resolvidas simultaneamente, estas equações produzem o valor de equilíbrio de cada empresa P&D.

Sob a condição de incerteza que caracteriza a inovação, os resultados de investimento em pesquisas de inovação passadas são o ponto de partida para a investigação de pesquisas inovativas (SONG, ALMEIDA e WU, 2003). Ao mesmo tempo em que Cohen e Levinthal (1989) destacam a importância de um estoque de conhecimento anterior na absorção de *know-how* externo, essa dependência de projetos passados acarreta em uma diferença temporal dos *pay-offs* de P&D.

Nesse sentido, as empresas investem em P&D não somente para inovar em produtos e processos, mas também para desenvolver e manter sua capacidade de assimilar e explorar informações disponíveis externamente (COHEN e LEVINTHAL, 1989). Segundo Fagerberg (1988), tanto a imitação da tecnologia mais produtiva quanto o crescimento da atividade inovativa e o investimento para diminuir as lacunas tecnológicas, seriam fatores explicativos para o desenvolvimento econômico.

Desse modo, Dosi (1988) considera que o movimento paralelo das firmas atrasadas no sentido de imitar, absorver e melhorar a tecnologia dos concorrentes mais próximos à fronteira tecnológica é a base do processo de difusão de tecnologia e da consequente erosão dos lucros extraordinários do inovador. A imitação não ocorre de forma automática, relegando a firma a

um papel passivo, mas exige esforços que podem, muitas vezes, redundar em inovações adaptativas, menores ou secundárias.

A principal limitação a essa abordagem é a dificuldade de levar em conta a complexidade, a autonomia relativa e as incertezas associadas com a mudança tecnológica e as inovações. O crescimento da pesquisa científica é tido como sendo exogenamente determinado, e não são feitas tentativas de relacionar isto com a evolução das tecnológicas e com o padrão da indústria, mercados ou com as instituições que as apoiam. A concepção unidirecional da ciência para a tecnologia e para a produção deve ser revista para incorporar a complexa estrutura de interações entre o ambiente econômico e a direção da mudança tecnológica (DOSI, 1982).

Nesse contexto, a busca por novas possibilidades de transformar o conhecimento em inovação – e em riqueza, por consequência – envolve inúmeros atores. A atribuição não é dada apenas aos governos, mas envolve o conjunto da sociedade, representada por academia, setor empresarial, entidades de categorias profissionais, entidades do terceiro setor, entre outros (MCTI/CGEE, 2010). Considerando as articulações e interrelações entre esses atores, a inovação se constitui num fator-chave para a geração de impactos positivos na economia e pode ter atributos como a sustentabilidade e a efetivação de incrementos no bem-estar social.

Em relação ao papel das políticas públicas no contexto da oportunidade tecnológica, estudos que trabalham com as políticas de oferta, questionam em que medida a demanda influencia a direção da inovação tecnológica (MEYER, 2000) e defendem o papel decisivo que a ciência e tecnologia possuem na direção de uma inovação. Para Rehfeld, Rennings e Ziegler (2007) e Peters *et al.* (2012) o progresso da ciência e da tecnologia são os responsáveis por uma determinada trajetória tecnológica e cabe à demanda, a função de direção da tecnologia para caminhos econômicos adequados. Deste modo as políticas de oferta trabalham na linha de redução do custo da inovação tecnológica para as empresas, que se refletem nas ações de subsídios governamentais a P&D, isenção ou descontos de taxas e tributos para as empresas que investem em P&D, aumento da capacidade de intercâmbio de conhecimentos com a promoção de trocas de informações entre agentes, apoio à educação e capacitação profissional (NEMET, 2009). Esses estudos justificam frequentemente estes tipos de ações governamentais, observando a presença de externalidades de *spillover* de conhecimento.

Nesse sentido, a concorrência tecnológica é um processo marcado pelo desequilíbrio, em que as posições oligopolísticas dos pioneiros estão sendo persistentemente contestadas, num movimento em que a cada momento se redefinem as capacidades das firmas e as parcelas de mercado, e, portanto, a intensidade dos processos anteriores (criação de assimetrias, difusão das inovações, velocidade com que são eliminadas as firmas que demoram a imitar) depende de

variáveis tecnológicas (natureza do regime tecnológico, facilidade de imitação da inovação) e institucionais (regras formais ou informais que regulam a guerra de preços e a velocidade de entrada e saída das firmas, entre outras) (SILVERBEG, DOSI e ORSENIGO, 1988).

2.2 O tratamento das Inovações Tecnológicas pela Teoria Evolucionária

Uma das dificuldades enfrentadas pela abordagem neoclássica em lidar com os processos de mudança tecnológica pode ser atribuída, principalmente, ao caráter estático dessa teoria e, por conseguinte, à consideração de situações hipotéticas de equilíbrio. Outro fator limitante diz respeito à hipótese do comportamento maximizador e de racionalidade perfeita, já que a incerteza que permeia as inovações tecnológicas, o caráter irregular dessas mudanças e a diversidade de estratégias das firmas a torna irreduzível à pura racionalidade (NELSON e WINTER, 1982). Ademais, a teoria neoclássica ainda apresenta outra limitação em relação à heterogeneidade setorial das firmas, ao considerar o conhecimento tecnológico das empresas como um todo. Tais limitações conferiram um tratamento apenas secundário à questão da inovação por parte dos teóricos neoclássicos, e abriram espaço para o desenvolvimento de modelos de inspiração schumpeteriana, também conhecidos como neoschumpeterianos ou evolucionários, os quais se mostraram bastante apropriados para estudar contextos que envolvem novidade permanente.

O enfoque evolucionário da firma vem sendo desenvolvido com grande vigor ao longo das últimas duas décadas, a partir de trabalhos pioneiros, como os de Nelson e Winter (1977) e Dosi (1984). Este enfoque surge de uma preocupação em se estabelecer um marco teórico alternativo à economia neoclássica, capaz de tratar de forma mais ampla o problema da mudança tecnológica. Trata-se, portanto, do que se pode chamar de “economia da mudança tecnológica” (DOSI, 1988), e que coloca a firma como elemento central na dinâmica capitalista.

Desse modo, o ponto inicial da teoria evolucionária está no abandono das premissas da teoria neoclássica de “racionalidade maximizadora”, “tendência de equilíbrio dos mercados” e considerar o “mecanismo de preço” como instrumento principal da concorrência entre firmas. Os evolucionários destacam o papel da inovação como determinante fundamental dos saltos de produtividade do sistema econômico e atribuem à ação da empresa privada, em busca do lucro, a função de agente propulsora da inovação (TIGRE, 1998).

O enfoque evolucionista está fundamentado na incorporação de inovações ao sistema econômico, isto é, no fato de que as mudanças econômicas são resultado das interações e/ou impactos, por exemplo, das inovações tecnológicas no sistema econômico. Desta forma, os

autores neo-schumpeterianos (DOSI, 1988; FREEMAN, 1987; NELSON e WINTER, 1982) consideram a tecnologia como uma variável endógena ao processo de desenvolvimento ou ao próprio sistema econômico, em oposição à tradição neoclássica dominante, a qual considera a tecnologia como uma variável exógena ao processo de desenvolvimento econômico.

2.2.1 Trajetórias tecnológicas, *path-dependence* e heterogeneidades setoriais

A visão de tecnologia apresentada por Dosi (1988) é muito diferente do conceito de tecnologia como informação que é geralmente aplicável e fácil de reproduzir e reutilizar (ARROW, 1962a), no qual as firmas podem produzir e usar inovações empregando livremente um “estoque” ou “reservatório” geral de conhecimento tecnológico. Cohen e Levinthal (1989) apontaram em seu modelo que o processo de mudança técnica dentro das firmas resulta não apenas do acúmulo de conhecimentos gerados pela própria atividade de P&D da firma, mas também da internalização do conhecimento produzido pela atividade de P&D das demais firmas na indústria (θ – *spillovers* intra-industriais) e mesmo de outros agentes/instituições da economia (T – *spillovers* extra-industriais). Os autores consideraram ainda que a apropriação de pesquisa de outras empresas é realizada através da interação entre θ e γ (capacidade de absorção), indicando que a empresa não pode assimilar o que não é transbordado externamente e, portanto, ela deve investir em seu próprio P&D para absorver qualquer *output* de P&D dos seus concorrentes. E, apesar de ser um modelo estático, γ é cumulativa e depende de várias características das firmas, bem como atual esforço de P&D.

Contudo, o grau em que as firmas se beneficiam do conhecimento tecnológico de seus concorrentes (θ) é influenciado por aspectos que são específicos a cada firma, por exemplo seu estoque de conhecimento tecnológico (z_i) e não do estoque geral de conhecimento tecnológico, sua capacidade de absorção (γ_i) e de replicação da tecnologia, de modo que o conhecimento fora da fronteira da firma não é livre e nem facilmente absorvido por ela mesmo estando em domínio público, e assim, não é igualmente internalizado por todas as firmas em uma indústria. Portanto, uma limitação do modelo de Cohen e Levinthal (1989) é a dificuldade de considerar a heterogeneidade setorial nos parâmetros, não levando em conta as características específicas de cada firma, dada a diversidade comportamental e a assimetria tecnológica existente na indústria. Nesse sentido, o processo de busca tecnológica das firmas industriais por aprimorar sua tecnologia não é caracterizado por firmas levantando todo o estoque de conhecimento tecnológico antes de fazerem suas escolhas tecnológicas. Pelo contrário, dada essa natureza altamente diferenciada, as firmas buscam melhorar e diversificar sua tecnologia pesquisando

em áreas que lhes capacitam a usar e construir sobre sua base tecnológica existente e também sobre seus mercados existentes, seus canais de distribuição, dentre outros (NELSON e WINTER, 1982).

Desse modo, os processos de busca tecnológica em cada firma são cumulativos, de modo que o que a firma pode esperar fazer tecnologicamente no futuro é estreitamente delimitado pelo que ela foi capaz de fazer no passado (DOSI, 1988). Isso caracteriza o conceito de trajetória tecnológica. Assim, a trajetória tecnológica é definida como um padrão de processo tecnológico por meio da solução incremental que ocorrem dentro de *trade-offs* econômicos e tecnológicos definidos por um paradigma tecnológico⁷. À medida em que um paradigma se difunde ele cria uma trajetória, associada com o desenvolvimento progressivo das oportunidades de inovação relacionadas a ele, e que determinarão a forma como as economias se transformarão ao longo dos anos.

Conforme Cimoli e Dosi (1995), a princípio, as trajetórias podem ser medidas com base nas mudanças nas características tecnológicas e econômicas fundamentais dos produtos e do processo de produção. As principais características de uma trajetória tecnológica são: cada corpo específico de conhecimento (por exemplo, cada paradigma) dá forma e restringe o ritmo e a direção da mudança tecnológica, independentemente dos estímulos de mercado; em consequência, observasse regularidades no padrão da mudança técnica em diversas condições de mercado (por exemplo, para distintos preços relativos) cuja interrupção se relaciona com mudanças radicais nas bases do conhecimento (paradigmas); a mudança técnica se deriva em parte das tentativas de enfrentar os desequilíbrios tecnológicos que tal mudança provoca.

Nesse contexto, as trajetórias tecnológicas podem ser mais gerais ou mais circunstanciadas; podem apresentar complementariedades; são parcialmente dependentes de características cumulativas; seus resultados são indefinidos *ex ante* (é impossível prever com exatidão o que acontecerá com uma trajetória tecnológica); a fronteira tecnológica é mutável, e

⁷ O paradigma é um pacote de procedimentos que orientam a investigação sobre um problema tecnológico, definindo o contexto, os objetivos a serem alcançados e os recursos a serem utilizados (DOSI, 1982). O paradigma tecnológico se apresenta como a “melhor prática”, a melhor forma de se produzir as coisas, e é incorporado em praticamente todos produtos possíveis. Porém, ao contrário do que se pode pensar, o paradigma tecnológico pode não ser a tecnologia mais avançada existente. Arthur (1989) salienta que às vezes uma tecnologia inferior vem a se tornar o paradigma tecnológico por razões que não são relacionadas à sua performance. Uma tecnologia inferior pode se difundir a ponto de se tornar um paradigma devido a questões políticas, de hábitos dos indivíduos, de custos para a aquisição e incorporação dessa tecnologia (como gastos elevados em treinamento) etc. David (1985) apresenta sua clássica e influente análise de tecnologias inferiores que se tornaram paradigmas tecnológicos em seus ramos industriais, como é o caso do teclado *Qwerty*, o tipo de teclado atualmente presente em todos os computadores. Outros exemplos de paradigmas tecnológicos incluem o motor a combustão interna, a química sintética baseada em petróleo e os semicondutores. Um exame mais atento dos padrões de mudança tecnológica, contudo, sugere a existência de “paradigmas” com diversos níveis de generalidade, em vários setores industriais.

as tecnologias podem tanto competir entre as novas e velhas tecnologias como entre as possíveis novas (SALLES FILHO, 1993).

Portanto, depois de selecionada, uma trajetória tecnológica apresenta um impulso próprio que contribui para definir as direções em que a atividade de resolução do problema se move, sendo denominada de trajetória natural do progresso técnico (NELSON e WINTER, 1982). Desse modo, uma inovação ao se tornar um paradigma tecnológico segue uma trajetória de difusão entre firmas e países e de surgimento de pequenas inovações complementares a ela (DOSI, 1988).

A noção de trajetória tecnológica aponta que cada tecnologia possui um tempo próprio de evolução e desta forma, sua difusão seguirá especificidades próprias. As diferentes velocidades de maturação de cada tecnologia são explicadas pelo conjunto de atores envolvidos. Para Dosi (1982) as empresas são provedoras de “problemas” que serão resolvidos por meio da aplicação de conhecimento tecnológico. A tecnologia assume um papel de “*problem solving*” nas empresas, na medida em que cada tecnologia, ou mesmo as oportunidades econômicas captadas pelas empresas em relação ao conjunto de tecnologias disponíveis (como aumentar a participação no mercado, aumentar os lucros) são diferentes e conseqüentemente a evolução da trajetória de desenvolvimento será diferente para cada tecnologia.

O fato da tecnologia ser cumulativa reforça a ideia de trajetória tecnológica (DOSI, 1982). O estoque de conhecimento acumulado pelas empresas e agentes afins ao desenvolvimento da tecnologia (como as instituições ou o governo) é que fornece a trajetória de evolução da própria tecnologia, o que evidencia a construção do conhecimento, na medida em que o aumento no número de indivíduos que dominam certa tecnologia determina o aumento da velocidade de difusão e desenvolvimento futuro da mesma no mercado. Nesse sentido, ao contrário da visão neoclássica que considera que a firma leva em conta todo o seu estoque de conhecimento, as decisões tecnológicas das firmas em um determinado ponto da trajetória estão condicionadas ao acúmulo de conhecimento científico e tecnológico dominado.

Esse argumento caracteriza a limitação da teoria neoclássica em lidar com a heterogeneidade setorial, pelo fato de abordar o conhecimento tecnológico extra-indústria (T) total de todas as firmas, conforme verificado no modelo de Cohen e Levinthal (1989), desconsiderando as especificidades setoriais das firmas. Nesse sentido, a teoria neoclássica ignora o fato de que a existência de um grande número de tecnologias e suas respectivas lógicas internas e trajetórias evolutivas, em determinados setores, indústrias ou firmas, se dá em meio a incentivos e oportunidades diferentes, devido aos distintos graus de complexidade e especificidade de cada conhecimento tecnológico base, ou seja, de cada tecnologia.

Uma vez que a trajetória tecnológica é definida como direção tomada pelo desenvolvimento tecnológico, dadas às escolhas do paradigma, isso sugere que as firmas têm um processo de desenvolvimento tecnológico que é condicionado pelas escolhas passadas que elas fizeram. Desse modo, as firmas seriam dependentes de sua trajetória, ou estariam numa situação de *path-dependence* (dependência da trajetória) (LA ROVERE, 2006).

O conceito de *path-dependence* deve sua popularização aos trabalhos seminais de David (1985) e de Arthur (1989) com o intuito de explicar trajetórias de tecnologias, cujas análises se notabilizaram pelas críticas realizadas às premissas de eficiência da teoria econômica neoclássica. Assim, se a evolução de um processo está condicionada pela sua própria história então ele é dependente da trajetória. Não é possível entender o resultado do processo sem considerar os eventos específicos que ocorreram em distintos momentos no passado. Neste caso, um mesmo processo pode dar lugar a múltiplas estruturas no longo prazo em função dos eventos históricos acontecidos (DAVID, 2000). Este conceito diz respeito ao fato que certos processos mostram bifurcações provocadas por pequenos eventos circunstanciais (históricos) que imprimem uma mudança de direção que se torna gradualmente irreversível⁸ permitindo o *lock-in* (ARTHUR, 1989). Essa irreversibilidade na trajetória adotada é chave para o conceito de *path-dependence* já que uma vez que o processo econômico entrou em uma certa rota existem forças internas que fazem que não seja possível abandoná-la espontaneamente. Dessa forma, a estrutura econômica torna-se crescentemente rígida, sendo mais difícil de ser alterada. Isto pode ser ilustrado pelos padrões tecnológicos⁹. Especificamente, as trajetórias tecnológicas da indústria de telecomunicações seguem o padrão da tradicional de evolução tecnológica com períodos de difusão, crescimento e maturação dos avanços tecnológicos em suas respectivas trajetórias (FAI e VON TUNZELMAN, 2001). Dentro dessa indústria, no caso da telefonia móvel, as inovações ocorrem com maior rigidez no que diz respeito à fixação de padrões que forma a base para a própria concorrência no setor (FUNK, 2009).

Como também evidenciado por Nelson e Winter (1982), uma vez que se atribui aspectos cumulativos das trajetórias tecnológicas, no sentido da busca constante de melhorar as características específicas a certo produto, equipamento ou componente, essas trajetórias

⁸ A irreversibilidade pode ser definida quando uma certa estrutura é alcançada e o processo não pode sair dela de forma endógena (sem intervenção externa), então existe uma certa rigidez estrutural e o processo está bloqueado (*lock-in*) (ARTHUR, 1989).

⁹ Padrões tecnológicos podem ser definidos como pontos externos de referência acertados de modo que as características físicas e de desempenho das tecnologias possam ser comparadas. Eles são essenciais quando se deseja uniformidade no aspecto e na qualidade do que se produz. Mas, muito além disso, os padrões podem servir como uma codificação da experiência tecnológica acumulada, como uma base da qual novas tecnologias emergem (HAWKINS, 1995). Outra definição é que os padrões tecnológicos são um conjunto de especificações técnicas que fabricantes adotam, seja tacitamente ou como resultado de um acordo formal (DAVID, 1995).

apresentam características de irreversibilidade e *path-dependence*, de modo que a incerteza da inovação impede que seja possível fazer uma comparação *ex ante* entre duas trajetórias alternativas e escolher qual seria a melhor. A escolha de uma trajetória faz com que os esforços de pesquisa estejam concentrados na direção do paradigma estabelecido, gerando cumulatividade em aprendizado e aperfeiçoamento. Porém, essa escolha pode não ser a melhor possível, e o custo de mudar para uma trajetória alternativa pode ser alto o suficiente para impedir a troca, evidenciando a irreversibilidade (DOSI, 2006).

Com a ajuda de alguma cumulatividade no conhecimento tecnológico, as capacitações tecnológicas internas se desenvolvem mais do que proporcionalmente ao crescimento “geral” do conhecimento em outras partes da série de possibilidades de produção. Assim, *ceteris paribus*, o progresso tecnológico se torna mais fácil nesta direção do que em outras. Uma implicação fundamental dessa visão é que, mesmo quando a mudança tecnológica é “acionada”, por exemplo, por mudanças nos preços relativos, as novas técnicas que são desenvolvidas como resultado são capazes de ser ou se tornar superiores às velhas ou depois de algum tempo de aprendizado, como no caso das máquinas agrícolas (DAVID, 1975). Isto quer dizer que o progresso técnico geralmente exhibe fortes características de irreversibilidade. Desse modo, nesse contexto de irreversibilidade a questão dos preços relativos perde a sua importância, de modo que a nova tecnologia supera a antiga independentemente dos preços relativos (DOSI e SOETE, 1983).

As propriedades de irreversibilidade da inovação, em alguns casos, emergem mais lentamente. No início, o processo de desenvolvimento/difusão de novas tecnologias pode envolver questões de escolha da técnica (DAVID, 1975). No longo prazo, o resultado da rivalidade entre as velhas e novas tecnologias depende claramente também das “oportunidades latentes” na experiência, implícitas nos dois paradigmas alternativos; entretanto, o grau no qual essas oportunidades são percebidas, exploradas e expandidas possivelmente exhibe características irreversíveis, cumulativas e dependentes da trajetória (ARTHUR, 1983). Os aperfeiçoamentos incrementais das novas tecnologias, baseadas no *learning by doing* e no *learning by using*, e as economias de escala na sua produção tendem a melhorar seu desempenho e a reduzir seu custo. Ademais, se adotado, um novo produto ou processo atrai para si os esforços de P&D, os quais, por sua vez, tendem a melhorar ainda mais seu custo e desempenho. Como resultado, toda vez que uma nova trajetória tecnológica se estabelece, ela provavelmente domina a velha trajetória (DOSI, 1988).

A irreversibilidade no avanço tecnológico também significa que, usando a abordagem neoclássica, a mudança nas curvas de possibilidades de produção possivelmente domina as

mudanças no interior de qualquer dada curva. O nível mais alto alcançado por essa trajetória constitui a fronteira tecnológica. Mais precisamente, em qualquer dado ponto no tempo, ao invés de uma curva bem-comportada, provavelmente observa-se apenas um (ou muito poucos) ponto correspondente a técnica superior (*best practice*), enquanto, ao longo do tempo, o processo de mudança dominante implicará aperfeiçoamentos dessas técnicas superiores, mais do que processos “estáticos” de substituição de fatores. Desse modo, os aspectos de irreversibilidade do progresso técnico tendem a ser reforçados pela provável emergência de diversos tipos de externalidades, instituições e infraestrutura associadas à geração e/ou exploração de qualificações específicas.

Uma condição suficiente para que a escolha de uma tecnologia mostre dependência da trajetória e irreversibilidade é de que existam fortes complementaridades no comportamento dos agentes, de forma que seja vantajoso adotar uma tecnologia porque ela já foi adotada antes por outros agentes. Em outros termos, devem existir retornos crescentes (mecanismos de realimentação que reforcem as escolhas tecnológicas realizadas num certo momento) associados a essas tecnologias: os benéficos da adoção das mesmas aumentam à medida que aumenta o número de adotantes. Assim, *spillovers* tecnológicos podem fazer que as decisões dos agentes sejam suficientemente interdependentes para que os processos apresentem uma multiplicidade de resultados (ARTHUR, 1994).

Conforme Arthur (1994, p. 28), a existência de retornos crescentes exige mudanças nos métodos de análise utilizados. Tanto Arthur (1989) quanto David (1985) concordam em suas análises que o mecanismo de retornos crescentes seria uma condição necessária da *path-dependence*, no que são rebatidos por outros autores como Arrow (2000) e Page (2006) que negam que o mecanismo de retornos crescentes seja necessário para a existência de processos dependentes da trajetória. Desse modo, a análise estática torna-se insuficiente, já que existem múltiplas soluções ou resultados possíveis para a evolução de um certo processo. A razão disso é que se pequenos choques mudam a trajetória de forma irreversível, e esses choques são circunstanciais ou aleatórios, não há como prever que caminho será efetivamente seguido pelo processo estudado. Desse modo, a dependência da trajetória implica que não é possível prever *ex ante* que tecnologia predominará ou será finalmente selecionada pelos agentes. Potencialmente há equilíbrios (ou trajetórias de desequilíbrio) múltiplos, e não é possível saber qual dessas possibilidades será efetivada.

Nesse contexto, Arthur (1989) formaliza a questão de *path-dependence* e irreversibilidade ao explorar a dinâmica de alocação de tecnologia sob retornos crescentes em um contexto em que os retornos crescentes surgem naturalmente, ou seja, os agentes escolhem

a adoção ou não de tecnologia entre tecnologias concorrentes. As tecnologias modernas e mais complexas muitas vezes exibem retornos crescentes para a adoção, uma vez que quanto mais elas forem adotadas, mais experiência é adquirida com elas, e então mais elas são melhoradas. Quando duas ou mais tecnologias que proporcionam um aumento de rendimento competem entre si, então, para um mercado de potenciais adotantes, eventos insignificantes, como por exemplo, sucessos inesperados no desempenho de protótipos, podem mudar as vantagens iniciais de adoções. Esta tecnologia pode ser melhor do que as outras, e por isso pode ocasionar uma proporção mais ampla de potenciais adotantes. Portanto, pode tornar-se ainda mais adotada e melhorada.

Assim, uma tecnologia que por acaso ganha uma vantagem inicial na adoção pode, eventualmente, monopolizar o mercado de potenciais adotantes, com as outras tecnologias tornando-se bloqueadas. Desse modo, competições entre tecnologias podem ter vários resultados possíveis. A abordagem dinâmica pode apontar duas novas propriedades: inflexibilidade, uma vez que um resultado (uma tecnologia dominante) que começa a emergir torna-se progressivamente mais *locked in*; e a não-ergodicidade em que pequenos eventos históricos não são esquecidos pela dinâmica, e, portanto, eles podem decidir o resultado (ARTHUR, 1989)¹⁰.

Outra razão para as diferenças intersetoriais em investimentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) está relacionada aos diferentes modos de busca de inovação, que estão presentes em cada paradigma. Por exemplo, em algumas tecnologias a inovação envolve pesquisa de laboratório e um complexo de desenvolvimento e teste de protótipos. Em outras tecnologias, a inovação é muito mais “informal”, normalmente associada a melhoramentos incrementais nos projetos, baseadas no *learning by doing* e no *learning by using* e, como tal, nunca é registrada ou mesmo percebida como o resultado de um investimento em P&D (DOSI, 1988).

Desse modo, a distribuição setorial das oportunidades tecnológicas está longe de ser homogênea (PAVITT, 1984). O aparecimento de novos paradigmas está desigualmente distribuído entre os setores, como também está o grau de dificuldades técnicas ao avanço da

¹⁰ De forma geral, o modelo de Arthur apresenta algumas características importantes: aprendizado microeconômico imperfeito, no qual as expectativas se formam a partir do passado; microheterogeneidade comportamental entre os agentes, isto é, nem todos os agentes têm as mesmas preferências com relação à seleção da tecnologia, e portanto nem todos respondem igual ao mesmo conjunto de informações; várias formas de retornos crescentes (especialmente na acumulação de conhecimento) e não-linearidades; dinâmica agregada dirigida por mecanismos de aprendizado individual e de seleção coletiva; e, geração de ordem estrutural a partir de flutuações do sistema em condições de desequilíbrio (ARTHUR, 1989). Para ver detalhes sobre a formalização do modelo analítico ver Arthur (1989).

eficiência de produção e do desempenho do produto; e a competência tecnológica para inovar, incorporada em pessoas e firmas. Esta distribuição de oportunidades e competências, por outro lado, não é aleatória, mas depende da natureza das atividades de produção setoriais e da base de conhecimento que sustenta a inovação em qualquer setor.

Nesse sentido, o progresso tecnológico ao longo de qualquer trajetória está relacionado ao desenvolvimento de infraestrutura específica, às economias de escala sistêmicas, às tecnologias complementares e às normas técnicas particulares que se apoderam positivamente dos padrões específicos de inovação (DOSI, 1988). Desse modo, Dosi (1988) ressalta que dada à existência de diferentes linhas de investigação que buscam explicar o ritmo e as características do progresso tecnológico, bem como suas mudanças internacionais, interindustriais e intertemporais, verifica-se a necessidade de generalizar algumas características empíricas comuns das tecnologias e dos setores. Pavitt (1984) enfatiza que o processo de inovação e as trajetórias tecnológicas guardam distintas especificidades, seja entre os setores de atividade econômica, seja entre países. Dessa forma, o autor contribui para dar sustentação definitiva à compreensão de que as distinções intersetoriais refletem maior ou menor intensidade de tecnologia em processos e produtos, caracterizando natureza e fontes predominantes para a mudança técnica.

Nesse contexto, o trabalho de Pavitt (1984) representa o primeiro trabalho a desenvolver uma taxionomia setorial de produção/uso de inovações. As similaridades nos processos produtivos das firmas resultam em trajetórias tecnológicas também similares entre os setores, permitindo o agrupamento das indústrias em três categorias, a saber: 1) setores dominados por fornecedores; 2) setores de produção intensiva, que se subdivide em setores intensivos em economias de escala e fornecedores especializados; e 3) setores baseados na ciência. Conforme o autor, é possível associarem-se formas igualmente distintas de comportamento das firmas, em relação ao modo de interação e de interrelacionamento com outras unidades, como fornecedores, distribuidores, usuários ou até concorrentes. Portanto, as formas que o processo de aprendizado interativo assume são, específicas às características da base técnica dos diferentes setores industriais.

Na construção dessa classificação, Pavitt (1984) realizou uma análise de fatores específicos dentro de setores, tais como os regimes tecnológicos dominantes, as características estruturais, a origem da inovação, os tipos de resultados, as formas de apropriação e as possibilidades de diversificação tecnológicas. Para o autor, as empresas tendem a se comportar de maneira similar quando atuam num mesmo setor, uma vez que os determinantes produtivos

são semelhantes. Assim, as rotinas observadas intrasetorialmente são parecidas e permitem que as análises para a empresa sejam projetadas para o âmbito setorial ou das indústrias.

Um argumento para se estudar a existência de especificidades nos processos da mudança tecnológica entre os setores industriais é que eles permitem o entendimento dos traços idiossincráticos da mudança tecnológica entre os setores, e mesmo entre as firmas. As padronizações podem captar informações no âmbito das empresas, estudando características como a dedicação de recursos à inovação, os tipos de resultados alcançados e o impacto das inovações no mercado. Ou ainda, podem focar elementos no nível setorial, pesquisando características da atividade produtiva que se pautam em elementos como os níveis de oportunidade tecnológica, o ritmo do progresso técnico, as condições de apropriabilidade, as formas de aprendizagem e a estrutura industrial verificada nos setores (PAVITT, 1984).

Os padrões setoriais de inovação resultam das diferenças intersetoriais de condutas inovativas que, por sua vez, decorrem das características tecnológicas e econômicas que distinguem os setores da economia. Dentre outras qualidades, tais características determinam que as inovações sejam concentradas em produto e/ou processo, que o esforço interativo ocorra e com quais organizações, que o processo de absorção do conhecimento seja ativo ou passivo, quais são as fontes de informação e inovação relevantes e quais as motivações para a mudança tecnológica (PAVITT, 1984; MALERBA, 1992). Dado estes pressupostos, definir os padrões setoriais de inovação consiste em identificar condutas que assemelham empresas de um mesmo setor e, simultaneamente, que distingam um setor dos outros, ou seja, estabelecer as características de funcionamento e idiossincrasias dos sistemas setoriais de inovação.

Nesse sentido, a abordagem neo-schumpeteriana também reforça a ideia das diferenças intrasetoriais ao considerar a existência de assimetrias entre firmas no que se refere à capacitação tecnológica, argumentando que esta assimetria é o fator essencial da dinâmica econômica e da criação de vantagem competitiva pelas empresas. Esta abordagem assume que as firmas apresentam performances tecnológicas diferentes umas das outras. Esta necessidade de diferenciação é permanente, fazendo parte do processo de concorrência em uma economia capitalista dinâmica (DOSI *et al.*, 1990). As diferenças e peculiaridades entre os setores são extremamente relevantes para a análise da dinâmica inovativa, pois esta depende das oportunidades tecnológicas percebidas pelas indústrias. A capacidade inovativa das indústrias influencia a estrutura produtiva das mesmas, o que modifica as heterogeneidades setoriais existentes principalmente nos países em desenvolvimento (AVELLAR *et al.* 2010).

Dosi (1988) salienta que as diferenças inter e intrasetoriais na distribuição de tamanho das firmas em geral, e das firmas inovadoras, em particular, estão ligadas às características dos

diferentes paradigmas tecnológicos e às formas pelas quais as capacitações inovativas se desenvolvem e podem ser competitivamente exploradas pelas firmas individuais. Afinal, qualquer distribuição das características das firmas, como por exemplo, o tamanho, a propensão a P&D e os custos unitários, em qualquer ponto do tempo é, em si mesmo, o resultado de processos de aprendizado corporativo e de concorrência, pelos quais certas características corporativas vêm a gerar uma vantagem competitiva. Em geral, a compreensão da distribuição intrasetorial particular das características estruturais e de desempenho das firmas implica o entendimento dos efeitos (específicos à tecnologia) da inovação sobre o desempenho econômico e a competitividade das firmas. Alguns desses efeitos referem-se ao espaço para o aproveitamento de economias de escala que cada paradigma tecnológico condiciona. Outros se referem ao impacto que as capacitações inovativas diferenciais de certas firmas exercem sobre sua habilidade de obter a liderança em eficiência e/ou qualidade do produto vis-à-vis as outras firmas.

Nesse sentido, pode-se verificar uma ligação unidirecional das características de cada tecnologia para a estrutura industrial e suas mudanças: as distribuições das firmas por tamanho, observadas em nível intrasetorial, são obviamente afetadas pelas oportunidades específicas ao setor para o aproveitamento de diversos tipos de economias de escala e pelos *trade-offs* entre estas e a flexibilidade da produção. Se firmas diferentes posicionam-se diferentemente com respeito aos *trade-offs* entre flexibilidade e economias de escala e/ou pesquisam e exploram as oportunidades para automação em diversos ritmos, deve-se observar uma distribuição variada de tamanhos de firmas, mesmo que a propensão a inovar seja neutra em relação ao tamanho (NELSON e WINTER, 1977).

Cabe ressaltar ainda que, nesse contexto de heterogeneidade setorial, uma grande implicação das características de cumulatividade e apropriabilidade da inovação é a existência permanente de assimetrias entre as firmas, em termos de suas tecnologias de processo e qualidade de produto. Isto é, as firmas podem ser classificadas como “melhor” ou “pior” de acordo com sua distância da fronteira tecnológica (DOSI, PAVITT e SOETE, 1990). Nesse sentido, Dosi (1988) denomina graus de assimetrias de uma indústria suas dispersões de eficiência de insumos para um dado produto (homogêneo); e preços ponderados pelas características de desempenho dos produtos (diferenciados) das firmas. Essas assimetrias também são o efeito de diferentes capacitações inovativas, ou seja, diferentes graus de acumulação tecnológica e diferentes eficiências nos processos de busca inovativa.

Dosi (1988) argumenta que quanto maior o potencial que um paradigma tecnológico gera para a criação de assimetrias na qualidade do produto e na eficiência de produção, isto é,

quanto maiores forem, conjuntamente, as oportunidades tecnológicas e a apropriabilidade das vantagens inovativas, maior será o escopo para as “melhores” firmas aproveitarem a vantagem competitiva e se tornarem maiores, independentemente de qualquer possível viés nos “retornos” da inovação com relação ao tamanho. Cabe ressaltar que qualquer padrão observável de assimetrias entre as firmas depende também de muitas outras características dos mercados nos quais elas operam.

Desse modo, cada atividade produtiva é caracterizada por uma distribuição particular de firmas, de acordo com seus investimentos em P&D, resultados inovativos, tamanho, graus de assimetria na qualidade dos produtos e eficiência produtiva. Entretanto, a representação de uma indústria que emerge em qualquer ponto do tempo, é em si mesmo o resultado do processo competitivo que seleciona os sobreviventes a partir da variedade tecnológica e da diversidade comportamental das firmas, confere um prêmio ou uma punição para os inovadores pioneiros e favorece em graus variados a imitação e a difusão tecnológica. Assim, um entendimento satisfatório da relação entre a inovação e a distribuição das características estruturais e de desempenho das firmas também implica uma análise dos processos competitivo e de aprendizado, mediante os quais uma indústria evolui (DOSI, 1988).

2.3 Inovação Ambiental

As inovações ambientais são caracterizadas por apresentar uma “dupla externalidade” (RENNINGS, 2000), uma vez que, primeiramente, elas podem reduzir a produção de externalidades ambientais negativas e em segundo lugar eles podem produzir externalidades de conhecimento positivas. De fato, o conhecimento apresentado por essas inovações podem transbordar para além dos limites das firmas que as desenvolvem e/ou as adotam e beneficiar outras empresas.

2.3.1 Conceituações da Inovação Ambiental

A inovação tecnológica convencional tem sido estritamente definida como “a introdução de novos produtos, processos ou serviços para o mercado” (UNCTAD, 2006). Uma definição mais ampla foi dada pelo Manual Oslo (OCDE, 2005), segundo a qual a inovação é a implementação de um produto novo ou significativamente melhorado (bem ou serviço), ou processo, um novo método de *marketing*, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios. Esta definição incorpora a difusão de tecnologia ao realçar que uma inovação não

precisa ser nova para o mercado para ser qualificada como tal; basta que seja nova para a empresa que a implementa. Assim, qualquer novo processo ou prática de negócio que foi desenvolvida em algum lugar e, em seguida, adaptada para a referida empresa também pode ser considerada como uma inovação (OZUSAGLAM, 2012).

A inovação convencional pode ser classificada de formas distintas com base em diferentes dimensões, sendo uma delas a distinção entre inovação incremental e radical¹¹. Outra dimensão, é a inovação ambiental ou a “eco-inovação”, que muitas vezes é apresentada como uma forma específica de inovação. O conceito de “eco-inovação” é bastante recente, sendo apresentado inicialmente na literatura de inovação no livro *Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability* de Fussler e James (1996). Estes autores definiram “eco-inovações” como novos produtos e processos que proporcionam valor ao consumidor e aos negócios, mas que significativamente reduzam os impactos ambientais (FUSSLER e JAMES, 1996). Nesse sentido, uma vez que este termo foi posto em debate, o conceito de “eco-inovação” tem chamado a atenção de muitos estudiosos e várias definições têm sido propostas na literatura. No entanto, a literatura apresenta uma divisão fundamental nos critérios que definem a inovação ambiental, de modo que enquanto alguns estudos consideram uma definição ampla de inovação ambiental focada no desempenho, ao invés da ótica ambiental e, portanto, um possível *by-product* da inovação convencional; outros estudos consideram a definição mais restrita com base em um objetivo *a priori* de redução de impactos ambientais.

A inovação ambiental pode ser definida como a introdução de novos procedimentos técnicos e organizacionais, no âmbito da produção industrial, que levam à maior proteção do meio ambiente (RENNINGS *et al.*, 2008). Por sua vez, diversos autores como Arundel *et al.* (2007), Kemp e Pearson (2008) e Oltra (2008) reiteram que grande parte das inovações tem impactos positivos no meio ambiente, independentemente das suas motivações *a priori*. Assim, os autores definem inovação ambiental de forma ampla: qualquer inovação que reduz os danos ambientais, ou seja, a inovação ambiental pode ser desenvolvida de maneira intencional e premeditada pela empresa ou mesmo acidental. Para a OCDE (2010), o âmbito da inovação

¹¹ Autores como Lemos (2000), Cassiolato e Lastres (2005) fazem referência à existência de dois tipos de inovação: a radical e a incremental. A inovação radical está relacionada ao desenvolvimento de um novo produto, processo ou forma de organização da produção inteiramente nova. Ela é fruto das atividades de P&D e não são contínuas na empresa. Passa a ser considerada como inovação radical quando acontece um salto na tecnologia do produto ou do processo. Já a inovação incremental associa-se à introdução de qualquer espécie de melhoria em produto, processo ou organização da produção sem qualquer mudança significativa na estrutura industrial, podendo resultar no aumento da produtividade e da qualidade, redução de custos e na maior abrangência das aplicações de um produto ou processo. Ela pode representar uma mudança no *design* do produto, na qualidade do processo ou em qualquer nova prática na empresa. Elas acontecem continuamente nas indústrias; não derivam necessariamente de atividades de P&D, e sim do acúmulo de conhecimento e do aprendizado interno (TIGRE, 2005).

ambiental pode ir além dos limites convencionais das empresas em inovar e envolver um regime social mais amplo, que provoca alterações das normas sócio-culturais e estruturas institucionais.

Atualmente, a definição mais aceita da inovação ambiental é a proposta por Kemp e Pearson (2008), como parte do *“Measuring Eco-Innovation” Project* (Projeto MEI, 2002-2006):

Assimilation or exploitation of a product, production process, service or management or business method that it is novel to the firm or user and which results, throughout its life cycle, in a reduction of environmental risk, pollution and other negative impacts of resources use (including energy use) compared to relevant alternatives (KEMP e PEARSON, 2008, p. 3).

O conceito de inovação ambiental apresentado inclui não apenas a inovação que visa reduzir os impactos ambientais, mas também casos em que a inovação convencional conduz a redução de impactos sem que isso seja um objetivo explícito. Nesse sentido, as inovações convencionais que têm efeito ambiental positivo, também são consideradas como “eco-inovações”. Como mencionado pela OCDE (2010), a “eco-inovação” pode ser motivada ambientalmente, mas também pode ocorrer como resultado de outros objetivos, tais como o cumprimento dos regulamentos e normas, aumento da produtividade, redução dos custos de entrada (e, conseqüentemente, os custos de produção). Assim, de acordo com esta definição, uma inovação convencional deve também ser considerada como uma potencial “eco-inovação” (OZUSAGLAM, 2012).

A definição MEI adota a ideia de desempenho ambiental, ao invés de apontá-lo como o critério de definição fundamental. De acordo com esta definição, as “eco-inovações” não precisam de ter um objetivo ambiental em qualquer fase de desenvolvimento ou utilização do produto/processo. Elas só têm de ser melhor do que suas alternativas com base no ciclo de vida (SPEIRS *et al.*, 2008). De acordo com o projeto MEI, o conceito de “eco-inovação” não deve ser limitado a novas ou melhores tecnologias ambientais, o que resulta na contabilização de cada produto ou serviço ambientalmente melhorado como uma “eco-inovação”. A justificativa para isto é que levar em conta apenas o objetivo de inovação limitaria muito o termo.

2.3.2 Classificações da Inovação Ambiental

Os contribuintes para o projeto MEI reconhecem que a “eco-inovação” é suscetível de ocorrer de diversas formas em toda a economia (KEMP e PEARSON, 2008). Diante disso, é necessário fazer a distinção entre as inovações que terão um grande impacto positivo sobre o

meio ambiente e aquelas que terão apenas um impacto limitado. Assim, embora o projeto MEI afirme que “uma empresa que adote um bem, serviço, gestão de processos de produção ou método de negócio com benefício ambiental é uma ‘eco-inovação’” (KEMP e PEARSON, 2008, p. 17), também reconhece a necessidade de distinguir quatro tipos de eco-inovadores (ou seja, empresas com diferentes comportamentos em relação à “eco-inovação”): (1) Eco-inovadores estratégicos são ativos em setores de eco-equipamentos e serviços, e/ou desenvolvimento de “eco-inovações” para venda para outras empresas ; (2) Eco-adotantes estratégicos implementam intencionalmente “eco-inovações”, sejam elas desenvolvidas *in-house* (dentro da empresa), adquiridas de outras empresas, ou ambos; (3) Eco-inovadores passivos não têm nenhuma estratégia específica para a “eco-inovação”, embora possam implementar acidentalmente inovações que resultam em benefícios ambientais; (4) Empresas que não são eco-inovadores não desenvolvem seja inovações intencionais ou não intencionais, com benefícios ambientais.

Devido à natureza abrangente da definição da “eco-inovação” pelo projeto MEI, a distinção entre quatro tipos de eco-inovadores não é suficiente para captar a diversidade do conceito. É importante classificar as “eco-inovações”, de acordo com a natureza das inovações envolvidas. Uma classificação é proposta por Kemp e Foxon (2007), que distingue as “eco-inovações” entre: as tecnologias ambientais, inovações organizacionais para o meio ambiente, as inovações em produtos e processos que oferecem benefícios ambientais, o sistema de inovações verde e tecnologias de propósito geral.

As tecnologias ambientais – ou limpas – podem ser definidas como o conjunto de conhecimentos, técnicas, métodos, processos, experiências e equipamentos que utilizam os recursos naturais de forma sustentável e que permitem a disposição adequada dos rejeitos industriais, de forma a não degradar o meio ambiente. Assim, as “tecnologias limpas” se referem às mudanças que ocorrem nos processos de produção, a fim de reduzir a emissão de poluentes ou diminuir o uso de recursos ou o consumo de energia (OOSTERHUIS, 2006). Entretanto, Kemp e Soete (1992) colocam com propriedade que o termo “tecnologia limpa”, apesar de ser amplamente usado, não é o mais correto. Primeiro, porque nenhuma tecnologia é totalmente limpa e segundo, porque se deve distinguir tecnologia limpa (*clean*) e tecnologias que limpam o ambiente (*cleaning*). Assim, para os autores, o termo correto seria “tecnologia mais limpa” (*cleaner*) ou “poupadora de recursos naturais” (*environment-saving*).

As “tecnologias mais limpas” (*cleaner technologies*) podem ser definidas como as modificações empreendidas para minimizar ou até mesmo eliminar qualquer efeito prejudicial que um processo pode gerar no meio ambiente. Essas tecnologias são eco-eficientes, pois

apresentam um coeficiente de emissões de poluentes por unidade de produto inferior à outra tecnologia anteriormente utilizada, requerendo alterações nos processos produtivos. Também podem ser consideradas tecnologias de prevenção da poluição (*pollution prevention technologies*). Ademais, as tecnologias poupadoras de recursos naturais (*environment-saving technologies*) são também definidas como eco-eficientes, pois utilizam menos insumos, seja matérias-primas com base nos recursos naturais ou seja energia – como a reciclagem das águas em processos industriais (KUEHR, 2007).

As inovações organizacionais para o meio ambiente se referem à introdução de métodos de organização e sistemas de gestão que tratam de questões ambientais encontradas no processo de produção. Os métodos de organização incluem todos os esquemas que visem a prevenção da poluição através da substituição de insumos, funcionamento mais eficaz dos processos e pequenas mudanças na produção (por exemplo, evitando ou parando vazamentos) (OZUSAGLAM, 2012). Teoricamente, a gestão ambiental deve garantir qualidade e preservação do meio ambiente nos limites intra e interorganizacionais, revelando técnicas e procedimentos com potencial suficiente para a mitigação dos problemas no setor industrial. O sistema de gestão ambiental, escolhido inicialmente para prevenir riscos, acidentes e infrações à legislação ambiental, passou a orientar as organizações a adequar e integrar melhor seus processos produtivos ao meio ambiente.

Assim, os sistemas de gestão e auditoria ambiental incluem todos os sistemas formais de gestão ambiental que envolvem medição, relatórios e responsabilidades relativas a questões de utilização de materiais, energia, água e resíduos. Um exemplo de sistemas de gestão ambiental é a série de normas ISO 14000, concebida para auxiliar as organizações a gerenciar os seus sistemas ambientais, consistindo em um conjunto de documentos que definem os elementos-chave para que as organizações tratem as suas questões ambientais (VALLE, 2002). Desde então, a prática da gestão ambiental configura-se como um importante elemento no estabelecimento de um possível relacionamento mais equilibrado entre sociedade e o meio ambiente (DEMAJOROVICK, 2006).

As inovações em produtos e processos que oferecem benefícios ambientais incluem todos os produtos novos ou ambientalmente melhorados, bem como serviços ambientalmente benéficos. Estes abrangem: bens novos ou ambientalmente melhorados incluindo casas e edifícios ecológicos; produtos financeiros verdes, tais como as hipotecas climáticas; serviços ambientais, por exemplo, gestão de resíduos e da água, gestão e consultoria ambiental, testes e engenharia); serviços que são menos poluentes e uso intensivo de recursos, como por exemplo, o compartilhamento de automóveis.

O sistema de inovações verde são sistemas alternativos de produção e consumo que respeitam mais o ambiente do que os existentes. Esse sistema envolve um conjunto de mudanças nas tecnologias de produção, conhecimento, organização, instituições e infraestruturas e, possivelmente, mudanças no comportamento do consumidor, como por exemplo, agricultura biológica e sistema energético baseado em energias renováveis (KEMP e FOXON, 2007).

As tecnologias de propósito geral são parte importante do cenário tecnológico. Elas não são rotuladas como tecnologias completamente verdes, mas com certas configurações e tipos de usos ambientais, tais como a biotecnologia e as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) (KEMP e FOXON, 2007).

2.3.3 Especificidades da Inovação Ambiental

Em relação às inovações convencionais, a geração de inovação ambiental depende em grande medida dos benefícios recebidos pelo inovador. As inovações bem sucedidas devem fornecer maior valor ou reduzir custos e, em última análise, aumentar as receitas dos clientes existentes ou atrair novos clientes (CARRILLO-HERMOSILLA *et al.*, 2010). O inovador ambiental pode se beneficiar da sua atividade inovadora de forma direta ou indireta. De acordo com Kemp e Andersen (2004), benefícios diretos para uma “eco-inovação” consistem em vantagens operacionais, tais como redução de custos de uma maior produtividade dos recursos e uma melhor logística, e as vendas de comercialização. Benefícios indiretos incluem uma imagem melhor, melhores relações com fornecedores, clientes e autoridades, uma capacidade geral de inovação reforçada pelos contatos com os detentores de conhecimento, benefícios de saúde e segurança e maior satisfação do trabalhador. Assim, os benefícios indiretos na sua maioria têm valor no longo prazo, que podem ser negligenciados pelas empresas à procura de lucros de curto prazo, eles podem ser os condutores mais importantes para o comportamento verde proativo.

Nesse sentido, uma vez que os benefícios indiretos para a geração de inovação ambiental ocorrem no longo prazo e a mudança do padrão tecnológico é extremamente complexa, pois, além de também ocorrer no longo prazo, depende de muitas variáveis e, mesmo induzida por qualquer tipo de política, não se sabe *a priori* todas as consequências que irão decorrer delas. Desse modo, o estudo da mudança tecnológica envolve diversos aspectos e releva que ela é um processo evolucionário, que apresenta características de não-linearidade, cumulatividade e de interdependência temporal (*path-dependent*). Ademais, a mudança tecnológica na direção da

sustentabilidade ambiental depende de outros fatores não-econômicos, como desenvolvimento de capacidades específicas da firma, infraestrutura e mudanças institucionais.

Desse modo, é possível destacar as principais características das questões que envolvem a inovação e o meio ambiente. Inicialmente, pode-se considerar a característica da interdependência temporal (*path-dependent*). Vale notar que essa característica não é inerente apenas à inovação ambiental, mas também corresponde à inovação convencional. Nesse sentido, a tecnologia não é eleita por ser a mais eficiente, mas torna-se mais eficiente por que foi eleita, isto é, as tecnologias tornam-se mais atrativas quanto mais são utilizadas. Assim, a tecnologia possui interdependência temporal, ou seja, ela será resultado de trajetórias previamente definidas. Logo, além de serem caracterizadas como *path-dependent*, podem gerar um efeito de *lock-in*: uma tendência das firmas a preservar o paradigma tecnológico vigente. Nesse sentido, a depleção dos recursos naturais que levam à perda de diversidade biológica (biodiversidade), gerando desequilíbrios nos ecossistemas, ocasionam em um efeito negativo sobre o meio ambiente que é resultado de decisões e ações passadas, sugerindo também uma interdependência temporal (*path-dependent*), revelando um processo de mudanças contínuas e evidenciando incertezas em relação ao conhecimento dos impactos ambientais resultantes do crescimento econômico (KEMP e SOETE, 1992).

As mudanças tecnológicas na direção de tecnologias ambientais podem ocorrer na trajetória tecnológica – como, por exemplo, um motor à combustão mais potente e gera menos emissões – ou no paradigma tecnológico – mudança das fontes de energia primária na direção de gerar menos impactos ambientais. Portanto, há fatores limitadores para as inovações ambientais de modo que o ambiente seletivo favorável a tal tipo de inovação e o paradigma tecnológico vigente limita as inovações incrementais e impede inovações mais radicais – como a produção de combustíveis com emissão zero (NELSON e WINTER, 1982).

A segunda característica é a perspectiva histórica, relacionada fundamentalmente à questão da inovação ambiental. Os problemas ambientais, que surgem como externalidades negativas do padrão tecnológico vigente, podem permanecer ao longo do tempo mesmo após a mudança desse padrão. Por exemplo, tem-se o caso do efeito estufa: mesmo se as emissões de gases do efeito estufa fossem cessadas imediatamente, o problema do aquecimento global permaneceria até que tenha ocorrido o decaimento desses gases, o que pode levar décadas (KEMP e SOETE, 1992).

A terceira característica relacionada à inovação ambiental seria a perspectiva dinâmica evolutiva. A história das mudanças tecnológicas mostra que elas são constantes e não-lineares, novos problemas ambientais vão surgindo, requerendo ações permanentes para tentar

solucioná-los, revelando um caráter dinâmico e evolutivo. Tais ações referem-se tanto à resolução técnica do problema, como também mudanças institucionais, culturais e na infraestrutura, que são necessárias para viabilizar soluções técnicas. Por exemplo, os carros movidos a gás natural, que emitem menos CO₂ do que os movidos à gasolina encontraram limitações de infraestrutura – poucos postos revendedores que comercializam o combustível – para a ampla difusão de seu uso (KEMP e SOETE, 1992).

A quarta característica relacionada à inovação ambiental seria a cumulatividade, em que os seus efeitos se somam ao meio ambiente. Um problema ambiental pequeno pode tornar-se extremamente complexo na medida em que há reincidência. Pode-se usar o exemplo do efeito estufa, pois é um problema ambiental que surgiu pela acumulação de gases a 20 km da superfície da terra que diminui a dissipação de calor do planeta no espaço. O conhecimento tecnológico também é cumulativo, resultado de experiências passadas que foram acumuladas ao longo do tempo (KEMP e SOETE, 1992).

À medida que ocorre a depleção dos recursos naturais não-renováveis, que diminui a sua quantidade em relação à oferta global dos recursos aumentando a sua disponibilidade, e mesmo com o desenvolvimento tecnológico, o uso contínuo pode trazer outros problemas ambientais de efeitos cumulativos. Por exemplo, mesmo que as reservas de petróleo sejam ampliadas, reduzindo o risco de esgotamento total do recurso não renovável, o efeito cumulativo continua presente, pois as emissões de CO₂ geradas pela queima de derivados do petróleo agravam o efeito estufa (CHEHEBE, 1997).

Outra característica relacionada à inovação ambiental seria a irreversibilidade, no sentido de não ser possível a reversibilidade das alterações provocadas sobre o meio. Em geral, um ecossistema degradado não pode ser revertido ao seu estado inicial, gerando consequências nos organismos vivos, ou seja, vegetais e animais, que foram atingidos pelos problemas ambientais, podendo levá-los à extinção. Para exemplificar tal característica, pode-se citar a recuperação de minas, florestas e solos que não recuperam suas qualidades originais; as doenças que se tornam crônicas devido à poluição atmosférica e a extinção de diversas espécies da fauna e da flora (KEMP e SOETE, 1992).

Ademais, considera-se ainda a incerteza como outra característica relacionada à inovação ambiental. Esse elemento está presente nos resultados da mudança tecnológica e seus impactos, ou seja, mesmo que uma determinada tecnologia seja direcionada para um objetivo determinado, não se sabe ao certo seus desenvolvimentos posteriores. Ademais, o processo evolutivo dos ecossistemas revela sua natureza sistêmica e complexa, em que a incerteza constitui em um componente fortemente estrutural. Portanto, a previsão de um impacto de

determinada tecnologia é repleta de incertezas, podendo mudar conforme o meio ambiente é alterado (AMAZONAS, 2001).

2.4 A Relação entre Inovação e Produtividade

A discussão sobre a relevância da inovação e do progresso técnico no desempenho das empresas e da economia ainda é motivo de debate teórico e de constantes aplicações empíricas. Essa preocupação se torna ainda maior quando se busca o nível ótimo de investimento em inovação e o seu efeito sobre a produtividade. Os primeiros trabalhos que buscaram prever as fontes do crescimento da produtividade revelaram que menos da metade desse crescimento era representado pelo aumento dos insumos capital e trabalho. Na maioria das vezes, o resíduo foi atribuído ao progresso técnico, influenciando uma vasta literatura na busca por medidas para quantificar essas mudanças tecnológicas na tentativa de explicar o crescimento residual da produtividade (GRILICHES, 1996).

Griliches (1979) identificou que as firmas, pelo menos no início, continuam exógenas ao processo de produção de conhecimento, mas têm suas atividades gradativamente transformadas ao fornecer conhecimento como *input* para as iniciativas de inovação. Nessas condições, como fator determinante, o conhecimento passou a ser função-chave do que foi genericamente chamado de *new knowledge economy* (a nova economia do conhecimento).

A análise da relação entre inovação e produtividade ganhou destaque com os trabalhos de Griliches, principalmente na concepção do autor em definir o investimento em P&D, dado pelo somatório de fluxos de investimento, como um estoque de conhecimento da firma (GRILICHES, 1979). Dessa forma, numa função de produção do tipo Cobb-Douglas, o estoque de conhecimento seria alocado como um insumo, assim como acontece comumente com o capital e o trabalho.

Tradicionalmente, a importância da Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) é avaliada pela relação entre P&D e produção (ou de custo, ou de lucro), em que se estima a elasticidade do produto ou taxa de retorno de P&D por meio de uma função de produção Cobb-Douglas, em que um estoque de conhecimento em P&D é inserido na equação de forma separada (MANSFIELD, 1996). Outra forma de avaliar P&D pode ser através da estimativa do valor relacionado ao investimento em P&D pelos mercados de capitais.¹² Desse modo, ao invés de relacionar P&D com as medidas de desempenho econômico, o investimento em P&D também

¹² Para maiores detalhes ver Griliches (1981) e Hall e Oriani (2004).

pode estar relacionado com os indicadores de inovação através de algum tipo de função de produção de conhecimento. Os retornos de P&D têm sido geralmente analisados em termos de patentes ou a análise das firmas que realizam algum tipo de inovação (por exemplo, JAFFE, 1989 e ACS, AUDRETSCH e FEDLMAN, 2002).

Uma abordagem tradicional para modelar a relação entre produtividade e P&D é proposta por Griliches (1979) em que o autor assume uma função de produção padrão de valor agregado do tipo Cobb Douglas que inclui o estoque de conhecimento como um fator separado da produção. O modelo pode ser expresso pela seguinte equação:

$$Y_t = AD_t^\beta K_t^{\alpha_1} L_t^{\alpha_2} e^{\mu t} \quad (3)$$

em que Y_t é igual ao produto (valor agregado), D_t é o estoque de conhecimento em P&D, L_t é o insumo trabalho, K_t é o insumo capital, A é uma constante, e μ é uma tendência temporal que capta influências de outros fatores. Uma medida da produtividade total dos fatores (PTF) é dada por:

$$PTF_t = Y_t / (K_t^{\alpha_1} L_t^{\alpha_2}) \quad (4)$$

e assume-se retornos constantes de escala em relação aos insumos capital e trabalho, o que implica que $\sum \alpha_i = 1$. Em geral, os estudos têm considerado que α_i são as ações reais do trabalho e do capital nos custos totais, assumindo que o produto e os mercados de fatores são competitivos. Combinando as equações (3) e (4), tem-se:

$$PTF_t = AD_t^\beta e^{\mu t} \quad (5)$$

Linearizando a expressão (5), tem-se:

$$\log PTF_t = \log A + \beta \log D_t + \mu t \quad (6)$$

Diferenciando a equação acima com relação ao tempo e considerar $[d \log PTF_t] / dt = \dot{T} / T$:

$$\frac{\dot{T}}{T} = \beta \frac{\dot{D}}{D} + \mu \quad (7)$$

da equação (3) é possível interpretar β como sendo a elasticidade do produto com relação ao conhecimento de capital, isto é:

$$\beta = \frac{\partial \log Y}{\partial \log D} = \frac{\partial Y}{\partial D} \cdot \frac{D}{Y} \quad (8)$$

Desse modo, a expressão (8) pode ser escrita como:

$$\frac{\dot{T}}{T} = \frac{\partial Y}{\partial D} \cdot \frac{D}{Y} \frac{\dot{D}}{D} + \mu = \rho \frac{R}{Y} + \mu \quad (9)$$

em que $\rho = \partial Y / \partial D$ e $R = \partial D$ (ou seja, investimento líquido em conhecimento).

Essa modelagem, portanto, aponta que as firmas que inovam tendem a possuir níveis consideráveis de investimento em P&D e novo conhecimento econômico. Consequentemente,

firmas com muito insumo de P&D possuem um grau alto de produto da inovação (GRILICHES, 1979).

Desse modo, a produtividade total dos fatores (PTF) do setor i é afetada não somente por seu P&D, mas também pelos avanços de produtividade do setor j à medida que adquire produtos dele e que os progressos não foram totalmente apropriados por j . Ou seja, o conhecimento de um setor dependerá do investimento direto em P&D e do P&D incorporado adquirido de outros setores (GRILICHES, 1979).

O entendimento da inovação evoluiu e incorporou diversos fatores de mensuração da atividade tecnológica na empresa. Estes fatores determinantes da inovação (denominados de insumos ou fatores da inovação) é que conduzem ao aumento final da produtividade como consequência do processo de inovação. Os fatores são usualmente medidos na P&D, patentes e mão de obra qualificada, bem como o entendimento dos fatores externos, como a mudança organizacional, a cooperação ou financiamento da P&D.

Kleinknecht e Verspagen (1989) e Kleinknecht *et al.* (1991) enfatizaram que, em geral, as métricas com foco em P&D conseguiam capturar somente as atividades inovadoras provenientes dos orçamentos formais das empresas, e que as práticas informais de P&D, usuais nas pequenas e médias empresas, passavam ao largo desses levantamentos. No mesmo sentido, realçaram que as atividades de P&D voltadas para a cópia, a imitação e a absorção de tecnologias, mesmo quando inscritas nos orçamentos de P&D das empresas, não eram tratadas como produtoras de conhecimento novo nem de inovações.

Desse modo, as firmas, tomam como base um conhecimento que está disponível, ou seja, o conhecimento tecnológico é de domínio público e, portanto, é um bem público (ARROW, 1962a; NELSON, 1959); e, que é compartilhado por todos os agentes envolvidos. Mas, as firmas também procuram, a partir de novas buscas, melhorar e diferenciar seus procedimentos e estratégias, apresentando com isso diferentes formas de utilização dessas tecnologias no seu interior, fator que as distingue dos seus concorrentes e gera variações e evolução no sistema. Dentro desse contexto de que conhecimento tecnológico é um bem público, Arrow (1962a) não nega a existência de custos de transferência de conhecimento identificados como os custos de processamento de informações imediatas ou imitações, mas argumenta que eles são tipicamente pequenos em relação ao custo da criação de novos conhecimentos.

A tecnologia, vista como um bem público pela teoria neoclássica, está associada ao conhecimento genérico e ao seu processo de codificação. Na medida em que também está associada à capacidade de utilização em uma organização específica, pela forma como esta

relaciona seus processos produtivos e organizacionais aos produtos gerados, o conhecimento tácito torna-se fundamental. Em relação à importância do conhecimento tácito, Nelson e Winter (1982) apontam que a “transferência tecnológica” pode ser tão cara e consumir tanto tempo quanto uma P&D independente.

O investimento em P&D é, em geral, considerado como uma fonte positiva de externalidade devido ao caráter não rival do conhecimento por ele gerado (DIETZENBACHER e LOS, 2002). Além disso, é amplamente reconhecido que o efeito dos investimentos em P&D realizados por um setor em particular afetam muito mais a produtividade de outros setores do que a sua própria.

Através das externalidades de P&D, portanto, uma inovação criada em determinado setor industrial poderá beneficiar vários outros setores (DE LA POTTERIE, 1997). Em contrapartida, os gastos com P&D podem ser considerados externalidades negativas à medida que os setores podem financiar seu P&D estabelecendo preços maiores. Tal fenômeno encareceria o processo de compra de insumos pelos setores usuários, gerando assim essa externalidade para o consumidor (DIETZENBACHER e LOS, 2002). A difusão de conhecimento, por sua vez, surge à medida que o conhecimento gerado por uma região ou empresa contribui para o processo de inovação de outras, através dos denominados fluxos de conhecimento (BASCAVUSOGLU, 2004). Tradicionalmente, a difusão aliada à invenção de uma nova ideia e a sua comercialização, formam os três pilares nos quais a introdução de um novo produto, processo ou prática se sustenta (HALL, 2004). Adicionalmente, os padrões da mudança técnica são determinados, em grande parte, pela difusão tecnológica (BASCAVUSOGLU, 2004).

Na visão neoclássica, a difusão tecnológica seria um resultado cumulativo ou agregado de uma série de indivíduos racionais que contrastam o benefício adicional de adotar uma nova tecnologia e os custos da mudança, em um ambiente de incerteza e de informação limitada. Apesar de a decisão ser tomada pela demanda, os custos e benefícios são influenciados pelas decisões dos fornecedores da nova tecnologia (HALL, 2004). Nesse sentido, a literatura empírica dos efeitos produtivos das atividades de P&D destaca a existência dos transbordamentos tecnológicos (LOS e VERSPAGEN, 2000). Esses surgem quando os investimentos em tecnologia criam benefícios que não são exclusivamente para os inventores, e quando, com o uso conjunto da tecnologia, o lucro das firmas é maior (SHIH e CHANG, 2009).

Devido ao baixo poder de proteção de propriedade intelectual e da incapacidade de manter as ideias intra-firma, uma fração do conhecimento adquirido a partir das atividades de P&D

esvai-se. Contudo, tal fenômeno não representa exclusivamente uma difusão de conhecimento uma vez que ideias geram novas ideias, e descobertas de uma área científica específica podem ser ampliadas para outros campos (MOHNEN, 1997). Assim, o transbordamento de conhecimento surge devido ao caráter imperfeito da apropriabilidade do conhecimento associado à inovação (BASCAVUSOGLU, 2004). Desse modo, o conhecimento tecnológico se difunde via transbordamento, podendo ocorrer em sua forma incorporada ou desincorporada.

A diferenciação entre difusão tecnológica em sua forma incorporada e desincorporada se torna importante uma vez que permite a distinção entre os benefícios associados ao uso de bens de capital importados na produção e aqueles resultantes de fluxos internos de conhecimento tecnológico (SHIH e CHANG, 2009). A tecnologia incorporada, definida por Cassiman e Veugelers (2000), é aquela que pode ser adquirida através de ativos como trabalhadores, equipamentos ou partes de outras firmas. Já a desincorporada seria a obtida a partir de contrato de licenciamento, agências de consultoria ou de firmas terceirizadas que desenvolvem o P&D. Quanto à difusão incorporada no produto, essa ocorre quando a inovação inicial é incorporada no produto da indústria, o qual pode envolver uma nova commodity ou um aumento da qualidade de uma já existente. Desde que outros setores o utilizem como insumo intermediário ou bem de capital, a inovação se incorporará em muitos produtos, inclusive aqueles usados apenas para propósitos de demanda final (DIETZENBACHER e LOS, 2002).

Por sua vez, a difusão desincorporada está relacionada à transmissão de ideias, conhecimento, perícia e assim por diante. Por aumentar a habilidade de outros setores em produzir inovações com um dado esforço próprio de P&D, a difusão desincorporada gera externalidades (DIETZENBACHER e LOS, 2002).

Nos últimos anos, reconheceu-se na literatura que os *spillovers* de conhecimento provenientes de fontes externas podem ter um impacto significativo nos processos de inovação, mudança técnica e desenvolvimento econômico (FRITSCH e FRANKE, 2004, VERSPAGEN, 1997; CERULLI e POTI, 2009). Tal fato se dá por apenas algumas organizações conseguirem gerar internamente todo o conhecimento de que necessitam para manter um contínuo desenvolvimento tecnológico. Na medida em que produtos e processos mais eficientes surgiriam, o conhecimento próprio começaria a perder sua especificidade, vazando para outras firmas do setor (GRILICHES, 1979).

É importante ressaltar ainda, a existência de *spillovers* indiretos, uma vez que pode existir um efeito cascata de mudança técnica entre os setores, devido à interdependência tecnológica entre as indústrias fornecedoras e consumidoras (SILVA, GONÇALVES e PEROBELLI, 2010). Por outro lado, a habilidade de implementação e apropriação de novas

tecnologias é alcançada a partir da transferência de conhecimento dentro das empresas (Gilbert e Cordey-Hayes, 1996) e está necessariamente relacionada ao uso que a firma confere à pesquisa da inovação (FABRIZIO, 2009). A receita líquida obtida pela firma reflete suas atividades atuais e passadas de P&D, contudo, através da difusão do conhecimento adquirido, os custos das atividades acumuladas de P&D da firma podem ser transferidos para outras empresas. Neste caso, o retorno privado destas atividades excederia o social (GRILICHES, 1979).

Assim, como o investimento em P&D de um setor aumenta a produtividade dos outros setores, os *spillovers* têm efeito positivo na produtividade, de modo que sua magnitude varia entre empresas de alta, média e baixa tecnologias (LOS e VERSPAGEN, 2000). Muitos estudos a respeito da transferência tecnológica apontam para a importância de se considerar a capacidade social, criação de conhecimento, experiência prévia e capacidade de acesso e absorção de conhecimento externo (ALMEIDA e KOGUT, 1999). Griliches (1979) destaca dois tipos de *spillovers*, como sendo os de renda (*rent spillover*) e os de conhecimento (*knowledge spillover*). Enquanto o primeiro estaria relacionado a transações econômicas, o segundo não estaria ligado ao produto, e sim, ao conhecimento criado em alguns setores que pode ser usado em outros. Ademais, os *spillovers* de conhecimento, como aponta Verspagen (1997), estão relacionados mais diretamente ao conhecimento incorporado nas inovações do que nas transações econômicas.

Para Griliches (1979), os *spillovers* de conhecimento são as ideias emprestadas pela equipe de pesquisa do setor *i*, sendo referentes aos resultados de pesquisa do setor *j*. Além da transmissão de conhecimento de um setor para outros, deve-se levar em consideração ainda a diferença social de produtividade de P&D dos diferentes setores. Dessa forma, devido ao grau de proximidade tecnológica, alguns setores emprestariam mais conhecimento do que outros. Assim, o nível de produtividade de uma empresa dependeria do seu próprio nível de pesquisa e do nível de conhecimento generalizado que pode adquirir.

2.5 Competividade e meio ambiente: a Hipótese de Porter

A visão clássica tradicional sobre a responsabilidade social das firmas, representada por Friedman (1970), aponta que a única responsabilidade social das empresas deve constituir na utilização de recursos e no engajamento em atividades que garantam seus lucros. Assim, a responsabilidade social da empresa consiste única e exclusivamente em aumentar seu lucro, maximizar os seus retornos. Logo, tudo o que se faz na empresa e nos negócios tem por objetivo

o cumprimento desta responsabilidade. A preocupação com os empregados, com a qualidade, com o bem-estar da comunidade, enfim, tudo o que se faz pelos outros, justifica-se apenas se a ação resultar na maximização dos resultados econômicos da empresa (FRIEDMAN, 1970).

Nesse sentido, Friedman (1970) é contrário a qualquer ação empresarial que não seja voltada aos interesses econômicos da própria empresa de maneira a não lesar o empresário. Ao desviar-se do seu objetivo de gerar lucro, o empresário estará disponibilizando recursos da empresa que resultarão na redução do lucro. Para o autor, o papel social da empresa deve se restringir a gerar empregos, pagar salários justos e manter seus impostos em dia. Com isso, ela contribui com o bem-estar público. Nesse sentido, a visão economicista de Friedman (1970) atrela a empresa apenas ao fator econômico, desconsiderando a sua responsabilidade no aspecto social e ambiental, já que os recursos disponibilizados para essa finalidade advirão dos lucros de empresários. Desse modo, ao considerar gastos que levem em conta o aspecto ambiental implicaria em custos para as firmas.

Em contraponto a essa visão, um dos primeiros estudos que observou a relação entre as inovações ambientais, as regulações e o desempenho econômico das empresas foi o desenvolvido por Porter e Linde (1995). Estes autores apresentaram uma perspectiva de que a regulação pode caracterizar uma situação “*win-win*”, pois ela é capaz de gerar benefícios econômicos e ambientais ao mesmo tempo.

Porter e Linde (1995) iniciam sua argumentação alegando que a crença da maior parte dos economistas de que as empresas fazem escolhas ótimas só se aplica dentro de um estrito conjunto de hipóteses: informação perfeita, empresas maximizadoras de lucro em modelos estáticos, tecnologia e oportunidades de lucro conhecidas etc. Segundo esses autores, ao contrário, na realidade, as empresas competem por meio de interações dinâmicas com oportunidades tecnológicas nem sempre conhecidas e mutantes, inércia organizacional, informação incompleta e dificuldades de alinhar os interesses individuais, grupais e corporativos. Com essa moldura, os autores se eximem da inevitável conclusão de que firmas que maximizam lucro não deixariam de aproveitar oportunidades de lucro.

Desse modo, Porter e Linde (1995) defenderam o princípio de que “normas ambientais adequadamente projetadas podem desencadear inovações que reduzem o custo total de um produto ou melhoram o seu valor” (PORTER e LINDE, 1995, p. 120) e que, portanto, compensariam os custos de submissão das firmas à inovação. O que se percebeu é que a relação antes dada como um *trade-off* entre preservação ambiental e lucratividade das empresas, parecia perder lugar diante das estratégias promissoras das empresas em ganhar mercado ao adotarem uma inovação ambiental dentro do processo produtivo.

Este argumento ficou conhecido como Hipótese de Porter, baseada na visão dinâmica de produção, que enfatiza a sinergia entre regulações ambientais e competitividade. De acordo com tal visão, não existe um conflito inevitável entre ganhos econômicos e ambientais. Ao promoverem melhorias ambientais, as empresas podem economizar insumos, racionalizar o processo produtivo, aproveitar resíduos, diferenciar o produto final e, com isso, ganhar em competitividade. Assim, a adequação a regulações ambientais de produção mais exigentes não se constituiria num jogo de soma zero, pois poderia representar uma nova fonte de permanente mudança estrutural (PORTER e LINDE, 1995).

Nesse sentido, a regulação ambiental seria um canal indutor para adoção de inovações ambientais e, conseqüentemente, a obtenção de ganhos de competitividade por parte das firmas. Em uma visão estática, onde produção, tecnologia, processos e demanda dos consumidores são fixos, padrões ambientais mais rígidos certamente levariam ao aumento de custos e tenderiam a reduzir a parcela de mercado das empresas em um mercado globalizado (PORTER e LINDE, 1995). No entanto, os autores consideram essas variáveis como dinâmicas capazes de proporcionar soluções inovativas às pressões dos consumidores, competidores e, inclusive, das regulações. Estudos empíricos feitos pelos mesmos constataram que a imposição de regulações ambientais bem formuladas pode induzir à adoção de inovações capazes de aumentar a produtividade e a competitividade das empresas.

Entretanto, a hipótese de Porter é controversa, sendo criticada por vários autores. Primeiro, a evidência inicialmente usada em seu suporte é baseada em um pequeno número de estudos de caso de empresas, nos quais as empresas foram capazes de reduzir tanto as suas emissões de poluentes quanto os seus custos de produção. Como tal, dificilmente pode ser generalizado a todas as empresas. Em segundo, outros autores sugerem que, em uma economia perfeitamente competitiva, se há oportunidades para reduzir custos e ineficiências, as empresas poderiam identificá-los por si mesmos, sem a necessidade de indução via regulações (OATES *et al.*, 1993).

Desse modo, muitos autores têm tentado testar a hipótese de Porter empiricamente. Nesse contexto, três abordagens surgem desta literatura empírica. A primeira analisa a versão “fraca” da hipótese de Porter – a ligação entre a intensidade da regulação e a inovação ambiental. Porter e Linde (1995) apontam que a inovação não é somente mudanças tecnológicas e pode assumir várias formas, incluindo “*o design de um produto ou serviço, os segmentos que atua, como ele é produzido, como ele é comercializado e seu suporte pós-vendas*” (PORTER e LINDE, 1995, p. 98).

A segunda abordagem empírica avalia a versão “forte” da hipótese de Porter – o impacto da regulação ambiental no desempenho competitivo da empresa. Esta hipótese é testada sem considerar a causa desta variação no desempenho (se está ligado à inovação ou a outra causa). O desempenho dos negócios da empresa é muitas vezes medido pela sua produtividade (AMBEC *et al.*, 2011). Esta segunda abordagem tem uma longa tradição na literatura econômica.

Uma terceira abordagem para avaliar a hipótese de Porter examina a concorrência entre as nações. Essa abordagem leva em conta a hipótese de Porter original de que a regulação ambiental irá melhorar a competitividade das firmas e é denominada hipótese de “*pollution haven*” – em que uma regulação ambiental mais rigorosa vai induzir as empresas a deixar o país de origem e buscar outros países com uma regulação ambiental menos rigorosa, e, portanto, menos dispendiosa (AMBEC *et al.*, 2011).

Grande parte da literatura anterior sobre a hipótese de “*pollution haven*” encontrou impactos positivos consistentes com a hipótese de Porter. No entanto, Copeland e Taylor (2004) e Brunnermeier e Levinson (2004) explicaram em suas revisões de literatura, que estudos mais recentes apontaram uma relação positiva entre regulação e a decisão de localização das firmas, de modo que as firmas vão buscar locais com regulações menos rigorosas. Entretanto, verificou-se que a magnitude deste efeito não parece ser forte o suficiente para determinar a direção dos fluxos de comércio (COPELAND e TAYLOR, 2004), uma vez que os fluxos de comércio podem ser afetados por outros determinantes, tais como os custos trabalhistas, a tributação, a localização estratégica, densidade populacional, dentre outros. Talvez mais importante do ponto de vista da hipótese de Porter, poucos desses estudos têm sido capazes de distinguir entre os tipos de mecanismos de regulação empregados; em vez disso, eles muitas vezes usam os custos de controle à poluição ou níveis de emissões (AMBEC *et al.*, 2011).

Inicialmente apresentada como conjectura, a hipótese de Porter deu origem a uma vasta literatura econômica que buscou fundamentá-la teoricamente. A pergunta natural suscitada pela hipótese de Porter pode ser resumida na seguinte questão: se a inovação ambiental traz um aumento de lucros, por que as firmas não a adotam espontaneamente? O que fundamenta a necessidade da introdução de instrumentos de regulação ambiental?

Um primeiro grupo de trabalhos (AGHION *et al.*, 1997; AMBEC e BARLA, 2007; GABEL e SINCLAIR-DESGAGNÉ, 1998; KENNEDY, 1994) parte do pressuposto da maximização de lucros das empresas, à luz da literatura emergente da economia organizacional e comportamental. A racionalidade da empresa é impulsionada pelo seu empresário, que tem motivações e outros objetivos que não a maximização do lucro. O empresário pode ser avesso

ao risco (KENNEDY, 1994), resistente a qualquer alteração dispendiosa (AGHION *et al.*, 1997; AMBEC e BARLA, 2007), ou racionalmente limitado (GABEL e SINCLAIR-DESGAGNÉ, 1998). Portanto, o empresário perde boas oportunidades de investimento (do ponto de vista do lucro da empresa), porque eles são muito arriscados, muito caros (para o empresário, mas não para a empresa), ou fora dos hábitos e rotinas do empresário.

Ambec e Barla (2006) apontam que o empresário tem preferências que fazem com que ele adie investimentos rentáveis, mas oportunidades de investimento dispendiosas, porque o custo de inovar é no curto prazo, enquanto o benefício será no longo prazo, um viés do presente que o empresário tenderá a adiar quaisquer investimentos em inovação. Isso remete à taxa de desconto que estabelece uma relação de troca entre um custo ou benefício presente e um custo ou benefício em data futura, de forma que tanto as empresas (privada) quanto os governos (social) baseiam suas decisões de investimento na equivalência entre custos e benefícios, consideradas suas preferências tempo-capital (ISMODES, 2009). Ao aplicar uma taxa de desconto privada maior que a taxa de desconto social, o empresário estará disposto a realizar investimentos, entretanto, ele poderá causar um impacto negativo à atratividade do investimento, de modo que um investimento pode apresentar um efeito líquido ao governo, porém negativo ao empresário, o que acarretará a rejeição do mesmo. Com consequência, o governo deve intervir para tornar o investimento financeiramente viável. Desse modo, as regulações podem ajudar o empresário a superar este problema de controle próprio sobre os investimentos, aumentando os lucros da empresa.

Um segundo grupo de trabalhos (AMBEC e BARLA, 2002; ANDRÉ *et al.*, 2009; GREAKER, 2003; MOHR e SAHA, 2008; SIMPSON e BRADFORD, 1996) reconcilia a hipótese de Porter com a maximização do lucro, assumindo outra modalidade de “falha de mercado”. Sob a concorrência imperfeita interfirmas, Simpson e Bradford (1996) mostram que um governo pode proporcionar uma vantagem estratégica à sua indústria nacional através da imposição de uma regulação ambiental mais rigorosa. Ademais, com a concorrência imperfeita, mas produtos diferenciados, André *et al.* (2009) mostram que um padrão mínimo de qualidade do produto ambiental pode beneficiar todas as empresas resolvendo um problema de coordenação – permitindo chegar a um equilíbrio de Pareto melhorado. Mohr e Saha (2008) apontam um argumento semelhante de falha de coordenação com *spillovers* tecnológicos. Quando o retorno sobre o investimento em P&D de uma empresa é parcialmente capturado pelos seus concorrentes, as empresas investem menos em tecnologias mais limpas e mais produtivas. Nesse sentido, uma adoção forçada da regulação ambiental pode mudar a indústria

a partir de um equilíbrio com baixo investimento em P&D para um equilíbrio Pareto melhorado com maiores investimentos em P&D.

Greaker (2003) também relata *spillovers* tecnológicos como outra “falha de mercado” para fornecer uma base teórica para a hipótese de Porter, mas com uma parcela do mercado para a inovação. Sob a mesma visão, Xepapadeas e Zeeuw (1999) analisam o impacto das regulações ambientais sobre a dinâmica do capital. Eles mostraram que um imposto sobre as emissões pode levar à retirada de capitais mais antigos, aumentando assim a produtividade média. No entanto, apesar deste ganho de produtividade, o impacto no resultado é negativo em seu estudo. Em um trabalho relacionado, Popp (2005) argumenta que os retornos incertos para P&D podem reconciliar a noção de que, em casos específicos, os pesquisadores observam compensações completas de regulação ambiental, enquanto os estudos de toda a economia tipicamente encontram um custo líquido para a regulação ambiental. Porque os retornos de P&D são altamente distorcidos, algumas inovações irão resultar em economias de custo significativas, mesmo que a inovação em média não.

Uma abordagem relacionada se baseia em uma “falha organizacional” para conciliar a hipótese de Porter com uma maximização de lucro da empresa. Ela formaliza a ideia de Porter que a regulação ambiental pode superar a inércia organizacional. Ambec e Barla (2002) apontam que assimetrias de informação sobre tecnologias dentro da empresa podem apoiar a hipótese de Porter. Os empresários têm informações privadas sobre os custos reais de novas tecnologias que aumentam a produtividade e o desempenho ambiental. Eles usam informações de forma privada e algumas vezes exageram nestes custos, extraindo alguma renda para a empresa. Ao impor uma regulação ambiental, o governo reduz a possibilidade dos empresários extraírem benefícios para a empresa. A regulação é rentável para a empresa, quando a renda salva compensa o custo da conformidade com a regulação. Ela ajuda o empresário da empresa a promover a inovação tecnológica a custos organizacionais mais baixos.

2.5.1 Fundamentação teórica da Hipótese de Porter

Ambec e Barla (2002) apresentam uma das formalizações de falha de mercado que justifica teoricamente a hipótese de Porter. Para tanto, os autores consideram uma economia com três agentes: a empresa F (ou de seus acionistas), um gerente da divisão M e um regulador benevolente R . M implementa e gerencia uma nova planta de produção sob a autoridade hierárquica de F . O processo de fundação de uma planta de produção começa com um investimento inicial I inicial em P&D. O resultado do programa de P&D é uma tecnologia com

custo de produção constante $\alpha \in \{l, h\}$ com $\Delta\alpha = h - l > 0$, que é a informação privada de M . A probabilidade de $\alpha = l$ é $p(I)$ com $p(0) = 0, p' > 0, p'' < 0$ e $p(\infty) = 1$. Para simplificar, os autores supõem que a tecnologia l não causa danos ao meio ambiente, ao passo que a tecnologia h causa danos ao meio ambiente $d(q)$ com q do nível de produção. Assumiu-se que $d(0) = 0, d'(q) > 0$ e $d''(q) \geq 0$, para todo $q > 0$. Então, o bem é produzido. M incorre o custo αq e é pago w produzindo uma utilidade $w - \alpha q$. F usufrui de um benefício $B(q)$ a partir de q unidades produzidas com $B(0) = 0$ e $B' > 0$ e $B'' < 0$. $B(q)$ pode ser interpretado como receitas de comercialização do produto ou como o benefício derivado de produzir internamente um insumo intermediário. Sua utilidade é $B(q) - w - I$. O excedente privado total gerado pela produção é $\pi(q, \alpha) - I = B(q) - \alpha q - I$. Ele é maximizado no nível privado eficiente (*ex post*) q_α^* .

O terceiro agente, R , regula a atividade da empresa através da fixação de um limite superior sobre os danos ambientais d (como as licenças para emissão), e, assim, eventualmente, limitam a produção. R maximiza o bem-estar social definido pelo total do excedente privado menos o dano ambiental, que é $\pi(q, h) - d(q)$ (respectivamente, é $\pi(q, l)$) se $\alpha = h$ ($\alpha = l$) que é maximizada no nível social eficiente (*ex post*) $q_h^0 < q_h^*(q_l^0 = q_l^*)$.

Primeiramente, F e M participam de um cenário no qual não há regulação ambiental, de modo que (1) F investe e I oferece um contrato $\{w_\alpha, q_\alpha\}_{\alpha=l,h}$ para M que aceita ou recusa; (2) M observa α ; (3) M envia um relatório $\hat{\alpha} \in \{l, h\}$ para F ; (4) F oferece um novo contrato (w, q) . Se M aceita, este novo contrato torna-se o contrato em aberto. Se não, o contrato inicial continua em vigor; (5) F toma uma decisão de produção e paga M . Ademais, os autores assumem que M pode sair da negociação em qualquer fase, caso em que ele receba a sua utilidade de reserva normalizada para zero. Esta hipótese é consistente com contratos de trabalho padrão. Isso implica que M tem responsabilidade limitada: ele não pode sofrer de uma perda de utilidade abaixo do nível alcançado sem produzir qualquer. Ambec e Barla (2002) denotam $\{I^U, \{w_\alpha^U, q_\alpha^U\}_{\alpha=l,h}\}$ como o equilíbrio de alocação em um contexto sem regulação (*unregulated*). Não há perda de generalidade em considerar contratos iniciais que não são renegociados ao longo do caminho de equilíbrio, isto é, contratos, à prova de renegociação. Por isso, os autores consideram os contratos que não são renegociados na fase 4 ao longo do caminho de equilíbrio.

Neste contexto, é fácil mostrar que o contrato de renegociação de equilíbrio deve ser separado e levado a níveis de produção que maximizem, *ex post*, o excedente privado total, ou seja, $q_\alpha^U = q_\alpha^*$ para $\alpha = l, h$. Na verdade, qualquer outro programa de produção implicaria que é possível para F propor um novo contrato na fase 4, que aumenta o seu excedente, sem reduzir

a utilidade de M para qualquer realização de α . Esta proposta será aceita por M . Este resultado é mostrado formalmente em Beaudry e Poitevin (1995). Observe que, se M (em vez de F) faz a oferta de renegociação, a comprovação de renegociação implica também em uma eficiência *ex-post*. No entanto, neste caso, pode-se mostrar que a renda informacional concedida a M irá realmente ser maior reforçando assim o efeito positivo da regulação ambiental no retorno esperado de F .

O equilíbrio de investimento I^U e transferências $\{w_\alpha^U\}_{\alpha=l,h}$ é a solução para:

$$\begin{aligned} & \max_{I, \{w_\alpha\}_{\alpha=l,h}} E[B(q_\alpha^*) - w_\alpha | I] - I \text{ sujeito a} \\ & w_l - lq_l^* \geq 0 \quad LL_l \\ & w_h - hq_h^* \geq 0 \quad LL_h \\ & w_l - lq_l^* \geq w_h - lq_h^* \quad IC_l \\ & w_h - hq_h^* \geq w_l - hq_l^* \quad IC_h \end{aligned} \tag{10}$$

As duas primeiras restrições, LL_l e LL_h , representam restrições de responsabilidade limitada que proíbem F de pagar M menos do que seu custo. Nota-se que estas restrições garantem que restrição de participação *ex ante* de M seja satisfeita. As duas restrições adicionais, IC_l e IC_h , representam as restrições de incentivo compatíveis, estipulando que M prefere declarar a sua informação privada.

É fácil mostrar que as restrições vinculadas são LL_h e IC_l . Para extrair mais excedente, F gostaria de definir M em sua restrição de responsabilidade limitada. No entanto, em tal caso, M teria um incentivo para relatar um alto custo quando o custo é realmente baixo. A fim de induzir M a revelar o seu custo verdadeiro, F tem que aumentar o salário pago por uma tecnologia de baixo custo até o ponto onde a restrição de incentivo IC_l está vinculativa. Portanto, as transferências são:

$$\begin{aligned} w_h^U &= hq_h^*, \\ w_l^U &= \Delta\alpha q_h^* + lq_l^*. \end{aligned}$$

F admite renda informacional $\Delta\alpha q_h^*$ quando a tecnologia é l para induzir a dizer a verdade. O investimento I^U é definido pelos benefícios marginais ao investimento para F :

$$p'(I^U)(\pi(q_l^*, l) - \Delta\alpha q_h^* - \pi(q_h^*, h)) = 1.$$

Agora, Ambec e Barla (2002) introduzem a regulação ambiental nesse cenário, de modo que 1) F investe e I oferece um contrato $\{w_\alpha, q_\alpha\}_{\alpha=l,h}$ para M aceitar ou recusar; 2) M observa α ; 3) M envia um relatório $\hat{\alpha}$ para F e R ; 4) R define um limite superior sobre danos \bar{d} ; 5) F

oferece um novo contrato (w, q) . Se M aceita, este novo contrato torna-se o contrato em aberto. Se não, o contrato inicial continua em vigor; e, 6) F toma uma decisão de produção e paga M .

Este cenário apresenta dois aspectos diferentes do anterior. O primeiro aspecto é que o relatório enviado por M se torna público. Em outras palavras, na fase 3, M envia o mesmo relatório $\hat{\alpha}$ para F e R . O segundo aspecto é que na fase 4, depois que M enviou o seu relatório, R oferece uma oportunidade de limite superior de danos ambientais \bar{d} que, por sua vez, define um limite superior para a produção de acordo com a tecnologia α . Se F se recusa a estar em conformidade com a regulação, nenhuma produção é realizada. M recebe a sua utilidade de reserva, enquanto F acaba perdendo seu investimento inicial. Assume-se também que M pode se retirar em qualquer fase.

Ambec e Barla (2002) denotam $\{I^R, \{w_\alpha^R, q_\alpha^R\}_{\alpha=l,h}\}$ como o equilíbrio de alocação em um contexto com regulação (*regulated*). Uma estratégia dominante para R é estabelecer $\bar{d} = d(q_h^0)$. Assegura-se que o nível de produção será q_h^0 (respectivamente, q_l^*) em que a tecnologia é h (l). De fato, F pode se beneficiar da renegociação em qualquer outro nível de produção. Portanto, poderia fazê-lo propondo $q_h^0(q_l^*)$ quando a tecnologia é h (l). Assim, R é a certeza de obter o seu nível de produção preferido para cada $\alpha = l, h$, e, portanto, maximizar sua utilidade esperada.

Mais uma vez, os autores restringem a atenção para a comprovação dos contratos de renegociação que devem ser separados. Para ser a renegociação de determinada estratégia de R , a produção deve sempre incluir os níveis de produção $q_h^R = q_h^0$ e $q_l^R = q_l^*$. Investimento e transferências solucionam uma maximização semelhante a 1 exceto que q_h^* é substituído por q_h^0 . As transferências são:

$$\begin{aligned} w_h^R &= hq_h^0, \\ w_l^R &= \Delta\alpha q_h^0 + lq_l^*. \end{aligned}$$

Investimento é definido por

$$p'(I^R) \left(\pi(q_l^*, l) - \Delta\alpha q_h^0 - \pi(q_h^0, h) \right) = 1.$$

Ao distorcer a produção quando a tecnologia é h para o nível social eficiente, a regulação: (1) reduz rendas informacionais; e (2) diminui o excedente privado quando a tecnologia é h . Esses dois efeitos têm um impacto positivo sobre o investimento em P&D como o benefício marginal para aumentos de investimento: $I^R > I^U$. No entanto, os dois efeitos têm impactos opostos sobre retorno esperado de F . Uma vez que o efeito total é ambíguo, os autores caracterizaram as condições suficientes tratáveis para um efeito positivo.

Desde que I^R maximiza o seu retorno esperado com a regulação então $E[B(q_\alpha^R) - w_\alpha^R | I^R] - I^R \geq E[B(q_\alpha^R) - w_\alpha^R | I^U] - I^U$. Uma condição suficiente para que o retorno esperado de F seja maior em um cenário com regulação é dado por $E[B(q_\alpha^R) - w_\alpha^R | I^U] \geq E[B(q_\alpha^U) - w_\alpha^U | I^U]$, que simplifica para

$$\frac{p(I^U)}{1-p(I^U)} \Delta\alpha \geq \frac{\pi(q_h^*, h) - \pi(q_h^0, h)}{q_h^* - q_h^0} \quad (11)$$

A eq. (11) isola os dois efeitos opostos da regulação sobre o retorno esperado de F . O segundo fator no lado esquerdo da eq. (11) representa uma economia de renda. O lado direito quantifica a perda de lucro. A eq. (11) sugere que a hipótese de Porter é suscetível de ser satisfeita quando estiverem reunidas as seguintes condições. Primeiro, a probabilidade de obtenção de uma tecnologia mais limpa e mais produtiva é alta. Em segundo lugar, o ganho de produtividade marginal induzida por tecnologias mais produtivas é alto. Em terceiro lugar, a regulação tem um impacto relativamente pequeno sobre o lucro gerado pela tecnologia mais limpa em comparação com o seu efeito sobre a decisão de produção.

Ambec e Barla (2002) continuam com a simplificação da eq. (11). Primeiro, note que $\pi(q, h)$ é côncavo e $q_h^* > q_h^0$ implica $\pi(q_h^*, h) - \pi(q_h^0, h) \leq \partial\pi(q_h^0, h) / \partial q (q_h^* - q_h^0)$. Segundo, lembre que q_h^0 satisfaz $\partial\pi(q_h^0, h) / \partial q = d'(q_h^0)$. Considerando esses dois pontos, tem-se que:

$$\frac{p(I^U)}{1-p(I^U)} \Delta\alpha \geq d'(q_h^0). \quad (12)$$

Desse modo, com base no modelo teórico proposto, os autores concluem que os regulamentos ambientais podem, simultaneamente, aumentar o investimento em P&D e o lucro esperado das firmas.

3 INOVAÇÃO AMBIENTAL: DETERMINANTES E IMPACTO NA PRODUTIVIDADE

Este capítulo apresenta as evidências empíricas acerca da inovação ambiental e se divide em duas subseções. A primeira delas diz respeito aos estudos sobre os determinantes da inovação ambiental e a segunda trata de estudos que abordam a inovação ambiental e a produtividade.

3.1 Determinantes da Inovação Ambiental

Tradicionalmente, a literatura empírica sobre os determinantes de inovações ambientais teve seu enfoque no papel da regulação. Devido aos altos custos e às externalidades positivas causadas pelas inovações ambientais, alguns autores viam apenas nas regulações a solução para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e métodos de produção que gerassem menos resíduos ambientais. No entanto, há autores que acreditam que a inovação não deve ser associada de forma sistemática às regulações ambientais, mas deve ser vista como resultado de um processo complexo e interativo (OLTRA, 2008). Assim, desde os anos de 1990, vários estudos empíricos tentam identificar outros determinantes no lado da demanda ou da oferta. Entretanto, essas pesquisas são muito heterogêneas em termos de metodologias e resultados, uma vez que uma das principais dificuldades é encontrar dados e indicadores adequados sobre inovações ambientais.

Nos estudos empíricos, verificou-se algumas formas de mensurar a inovação ambiental. A discussão clássica aponta que a inovação ambiental pode ser medida pelo investimento direto em Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) ou pelas patentes. Desse modo, enquanto alguns trabalhos consideram modelos de contagem em que a inovação ambiental é medida por variáveis contínuas, como por exemplo, o investimento em P&D ou o número de patentes concedidas pela firma; outros estudos consideram modelos binomiais em que a inovação ambiental é representada por uma variável binária, que assume valor igual a 1 (um) se as firmas adotam inovação ambiental e 0 (zero) caso contrário.

Horbach e Rennings (2012) testaram se os diferentes tipos de inovação ambiental são movidos por diferentes determinantes. Com base na Pesquisa de Inovação da Comunidade Alemã em 2009, com 7.061 empresas dos setores de mineração e pedreiras, manufatura, fornecimento de energia e água e de serviços, os autores definiram doze tipos diferentes de inovação ambiental de acordo com o impacto ambiental causado por elas. Para tanto, os autores

estimaram um modelo *probit* e concluíram que, exceto para as inovações ambientais que têm impacto sobre a redução de material e consumo de energia, a regulação ambiental apresenta correlação positiva e significativa com a adoção dos outros tipos diferentes de inovação ambiental.

Del Rio *et al.* (2011) utilizaram um modelo de dados em painel das Indústrias de transformação espanholas no período 2000-2006 e confirmou a relevância da regulação ambiental e intensidade de capital físico para explicar o investimento em tecnologias ambientais. Os autores verificaram que os determinantes de inovação ambiental podem ser diferentes entre a adoção de tecnologias limpas e *end-of-pipe*. Nesse estudo, inovação ambiental é medida como um investimento em tecnologias ambientais e a regulação ambiental é representada pela intensidade de gastos com proteção ambiental. Ademais, a intensidade de exportação apresentou uma correlação negativa com inovação ambiental, indicando, de acordo com os autores que a proteção ambiental é sempre feita nos setores que são protegidos e altamente regulados, como, por exemplo, o de energia.

Em relação aos fatores determinantes da adoção organizacional de inovações ambientais, Frondel *et al.* (2008) estimaram um modelo *probit* com base em um estudo da OCDE realizado em 2003 com 899 empresas na Alemanha. Os resultados encontrados pelos autores indicam que a adoção de um sistema de gestão ambiental foi positivamente correlacionada com o aumento da imagem corporativa, tamanho das empresas e as forças internas, como, por exemplo, a pressão corporativa dos acionistas.

Cole *et al.* (2006), usando dados de 400 empresas japonesas em 1999, identificou os fatores que influenciam a adoção de 13 diferentes aspectos do processo de gestão ambiental das empresas. Os resultados obtidos indicam que o investimento direto estrangeiro, as empresas que exportam, intensidade de capital físico (estoque de capital por trabalhador) e tamanho da empresa (emprego total) são significativos e positivamente correlacionados com o desempenho de gestão da empresa.

Com relação ao debate de mudança de paradigma tecnológico, Aghion *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de painel com 80 países, entre os anos de 1978 e 2007, para observar a trajetória de inovações “suja” *versus* “limpa”. A fim de testar a hipótese de que as inovações seguem um *path-dependence*, os autores usaram os seguintes dados da indústria automotiva para construir as variáveis de seus modelos: os fluxos correntes de patentes sujas e limpas, o estoque de patentes sujas e limpas, o preço do combustível e uma variável interativa entre estas duas últimas. Os resultados das regressões dos autores mostraram que: variações positivas do preço do combustível tendem a levar as firmas a criarem patentes “limpas” e novas inovações

ambientais estão positivamente correlacionadas com patentes “limpas” e negativamente correlacionadas com o estoque de patentes “sujas”.

Brunnermeier e Cohen (2003) realizaram um estudo dos determinantes da inovação ambiental nas as indústrias de transformação dos Estados Unidos entre 1983 e 1992. Os autores utilizaram o número de patentes ambientais de sucesso concedidas a indústria como uma *proxy* para a inovação ambiental. Os autores estavam interessados em entender como a adoção de inovação ambiental responderia em mudanças nos gastos de redução de poluição e em mudanças nas atividades de monitoramento do governo, *proxies* para a política ambiental. Eles estimaram quatro modelos diferentes (efeitos fixos, Poisson, binomial negativo de efeitos fixos e efeitos aleatórios) e obteve resultados robustos concluindo que há uma relação positiva e significativa entre gastos de redução de poluição e o número de patentes “verdes” concedidas pela firma. Não houve efeito de monitoramento das atividades sobre a inovação ambiental. Além disso, os autores encontraram uma correlação positiva entre as atividades inovativas e a intensidade de exportação. Eles interpretaram a intensidade da exportação como indicador da demanda externa por produtos mais ecológicos.

Um estudo de De Vries e Withagen (2005) também utilizaram patentes relacionadas ao meio ambiente na Europa como indicadores de inovações ambientais. Os autores mediram a política ambiental com base em três indicadores diferentes: o cumprimento dos acordos internacionais pelos signatários individuais representando uma política interna mais restritiva; um índice de desempenho de sensibilidade ambiental combinando diferentes poluentes e, além disso, os autores modelaram a restrição como variável latente, de modo que níveis elevados de emissões desencadeiam políticas ambientais rigorosas, que por sua vez, fornecem um incentivo à inovação. Em termos de conclusão, os autores encontraram que somente para o terceiro indicador existia uma forte relação positiva com a inovação ambiental.

Wagner (2009) utilizou dados combinados e de patentes da pesquisa das empresas da indústria alemã para explorar a ligação entre a inovação ambiental, patentes, e as medidas de gestão ambiental. Ele encontrou que o nível de implementação de sistemas de gestão ambiental tem um efeito positivo exclusivamente sobre a inovação de processos ambientais, considerando que é negativamente associado com o nível geral de atividade de patentes de uma empresa. Em sua análise, uma combinação de pesquisas e dados de patentes ajudam a evitar o problema da auto-percepção das atividades ambientais.

Utilizando técnicas de cointegração, Grupp (1999) detecta efeitos positivos dos preços dos recursos e gastos ambientais sobre a inovação ambiental medido por atividades ligadas às patentes. Jaffe e Palmer (1997) aplicaram também um modelo de dados em painel modelando

P&D e patentes como variáveis dependentes. Os autores encontram que uma maior redução de custos levou a um aumento de gastos em P&D, mas eles não detectaram uma relação significativa entre regulamentos e produto de inovação.

Quanto aos estudos que consideram o papel dos “tradicionalis” determinantes de inovações pelo lado da oferta, como as atividades de P&D, pressões dos fornecedores ou atividades de cooperação, Scott (2003) apresenta uma análise econométrica de P&D ambiental com base na resposta da pesquisa original em P&D industrial de empresas dos Estados Unidos para a regulação da emissão de poluentes atmosféricos perigosos. O autor mostra que, em média, 24% do P&D industrial apresentado pelas empresas está relacionado com o desempenho ambiental de melhoria de produtos ou processos, com uma maior parcela vinculada aos produtos mais limpos. Em suma, parece que os determinantes da oferta de inovações ambientais são muito semelhantes aos determinantes da inovação convencional.

Com base em dados de painel de empresas alemãs, Horbach (2008) mostra que a melhoria das capacidades tecnológicas (“conhecimento de capital”) por P&D desencadeia em inovações ambientais. O autor conclui que a disponibilidade de maior conhecimento técnico dentro da empresa modera a sua vulnerabilidade diante das exigências dos novos regulamentos ambientais. O autor também aponta que a proximidade com uma melhor infraestrutura de conhecimento é um dos principais motores de investimentos em P&D no exterior.

Quanto aos determinantes pelo lado da demanda, geralmente assume-se que somente as forças de mercado forneceriam incentivos insuficientes à inovação e que a disposição dos consumidores a pagar por melhorias ambientais tenderia ser muito baixa (RENNINGS, 2000). No entanto, alguns estudos empíricos têm mostrado que a demanda começa a influenciar na realização de inovações. Um desses estudos é apresentado por Lanzi, Hascic e Johnstone (2012) que buscaram analisar os determinantes da inovação em tecnologias de geração de energia renovável com dados de patentes para 11 países da OCDE no período de 1978-2008. Os autores concluíram que os preços dos combustíveis fósseis determinam a atividade inovativa em tecnologias de geração de energia renovável, gerando evidências que corroboram com a teoria da demanda induzida.

De acordo com Florida (1996), Popp *et al.* (2007) e Horbach (2008), as demandas dos clientes e pressões pública se mostram como condutores das inovações ambientais. Mas, mesmo que as preocupações ecológicas dos consumidores e o aumento esperado da demanda futura por produtos ambientais são assumidos para desencadear inovações ambientais, continua difícil avaliar como os consumidores realmente valorizam e levam as características ambientais dos produtos. Na comparação com inovações não ambientais, os efeitos de *demand pull* são

fortemente apoiados ou provocados pelas políticas ambientais, tais como os regulamentos ou impostos, que buscam afetar as motivações internas e externas dos consumidores. Mas, como enfatizado por Taylor *et al.* (2006), instrumentos de *demand pull* moldam mais a difusão de tecnologias ambientais do que a própria atividade inovativa em si mesma.

Cabe ressaltar que os trabalhos empíricos sobre inovação ambiental raramente levam em conta a questão da heterogeneidade setorial. Alguns autores como Horbach (2008) ressaltam que existem diferenças setoriais significativas em termos de propensão a realizar inovações com efeitos ambientais. Ele argumenta que as empresas pertencentes a setores com altas vendas médias de novos produtos são mais propensas a inovar, seja em inovação ambiental ou outras.

Horbach (2006) apresenta uma análise dos determinantes da inovação ambiental para firmas alemãs utilizando duas bases de dados na tentativa de captar seus efeitos dinâmicos nos diversos setores. Para tanto, o autor utilizou variáveis como o tamanho da firma, expectativas do volume de negócios (demanda), o desempenho econômico no passado (situação de lucro), atividades de P&D, qualificação dos trabalhadores, a introdução de instrumentos de gestão ambiental, subsídios, idade da empresa, distinção regional entre Alemanha Oriental e Ocidental (região) e *dummies* setoriais. Com base em testes econométricos, o autor confirma a hipótese de que capacidades tecnológicas (P&D, qualificação dos trabalhadores) e o *share* exportador das firmas (*proxy* de características de mercado) desencadeiam inovação ambiental. Eles concluem também que ferramentas de gestão ambiental e políticas ambientais (subsídios) também são *drivers* da inovação ambiental. Ainda segundo o autor, o tamanho da firma aparece como não significativo, mas existem diferenças relevantes entre os setores.

Dentro dessa mesma linha de investigação, ao analisar os efeitos setoriais da inovação ambiental nas firmas localizadas no norte da Itália, Mazzanti e Zoboli (2006) afirmam que esses efeitos prevalecem sobre os efeitos do tamanho da firma tanto pelo lado do esforço inovativo quanto nos resultados da inovação (*output* e *input*). Estes autores enfatizam a influência positiva das atividades de P&D como um importante determinante à adoção de inovação ambiental. Os autores consideram ainda determinantes, a influência de variáveis estruturais da empresa, P&D ambiental, a pressão política ambiental e custos regulatórios. Na análise por setor, os autores verificaram que o setor têxtil apresenta baixa geração de inovação ambiental, mas também é um setor pouco inovativo no geral. Já o setor químico, cerâmica e papel e celulose geram mais inovação ambiental, mas suas inovações são de diferentes tipos. Em sua maioria, no setor químico, as inovações ambientais são medidas de redução de material e de emissão de poluentes. Estes resultados mostraram que o envolvimento dos setores nas inovações ambientais está ligado a sua propensão a inovar convencional, mas também a sua relação com

o ambiente (tipo de atividades produtivas, nível e natureza das emissões de poluentes, regulações ambientais). Desse modo, os autores concluem que uma melhor compreensão destas especificidades setoriais poderia contribuir para identificar os fatores que afetam as inovações ambientais e assim aprofundar a análise dos efeitos inovadores de instrumentos políticos.

Rogers (2004), utilizando dados das empresas australianas, investiga os determinantes da inovação em diferentes setores e de diferentes categorias de empresas. O autor encontra evidência de que o padrão de inovação nas empresas manufatureiras é muito diferente do padrão em empresas não-manufatureiras. Os resultados sugerem a persistência em atividades inovadoras e fornece provas de que a inovação tende a ser maior em empresas exportadoras, nas empresas com maior formação em gestão, as empresas que realizam comparações com outras empresas, e as empresas que fazem considerável investimento em P&D. Os resultados também são indicativos de heterogeneidade considerável na atividade de inovação relacionada com o tamanho da empresa.

Focando nos determinantes da inovação ambiental em países em desenvolvimento, Albornoz *et al.* (2009) sugeriram que as empresas de propriedade estrangeira são altamente e positivamente correlacionadas com a adoção de gestão ambiental na indústria de transformação argentina. Isso destaca a importância da tecnologia e práticas de gestão transferidas dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento. Esse resultado é consistente em todas as especificações adotadas e, particularmente, a análise indica que empresas estrangeiras são duas vezes mais suscetíveis de terem implementado gestão do que as empresas nacionais. Os autores utilizaram um modelo de regressão logística baseado em 1187 empresas argentinas, entre 1998 e 2001.

Especificamente relatando estudos sobre as firmas da indústria brasileira, Lucchesi *et al.* (2014), utilizando dados em painel entre 1998 e 2008 para o Brasil, apontam alguns determinantes da adoção de inovações ambientais. As variáveis utilizadas foram: regulação ambiental, tamanho, exportação, capital nacional e estrangeiro, *dummies* para os setores e para os estados. A hipótese de viés ambiental é verificada, o que indica que a regulação ambiental apresenta um papel importante para influenciar as firmas brasileiras a adotar tanto inovações ambientais tecnológicas quanto inovações ambientais organizacionais. Em relação especificamente ao processo inovativo em países em desenvolvimento, os resultados confirmam que empresas de capital estrangeiro têm maior probabilidade de adotar inovações “verdes”, geralmente através de transferência tecnológica e acordos de licenciamento. O tamanho da firma, o fator da empresa ser exportadora e a intensidade de capital físico também

são importantes determinantes da inovação ambiental nas indústrias de transformação brasileiras.

Oliveira *et al.* (2012) analisaram uma pesquisa inédita realizada com 2.400 empresas atuando no mercado brasileiro em diversos setores da indústria de serviços no período de 2009-2011. Alguns dos resultados obtidos foram: a maioria das empresas utiliza recursos próprios como a principal fonte financiadora da atividade inovativa e a pouca utilização de financiamentos e subsídios governamentais para a realização da inovação ambiental contrasta com a evidência de que os elevados custos para inovar são a maior barreira enfrentada pelas empresas. Os autores concluem que um maior conhecimento das fontes de financiamento e subvenção governamentais pode estimular a ocorrência de inovação ambiental no contexto das empresas brasileiras.

Marta *et al.* (2011) analisou os determinantes do investimento em redução da poluição no ano de 2007. O estudo utiliza dados de 8.218 as empresas brasileiras e conclui que os principais determinantes do investimento em redução da poluição são o tamanho da empresa (total de empregados) e da produtividade das empresas (medida razão entre o valor da indústria de transformação pelo número de empregados), ambas as variáveis com sinais positivos. Por outro lado, os coeficientes que correspondem a idade da empresa e de exportação (variável *dummy*) foram significativas e negativas.

Diniz *et al.* (2010) analisam as inovações ambientais no Pólo Industrial de Manaus e classificam os setores como poluidores e não poluidores¹³. Para a maioria dos setores considerados poluidores, o principal fator motivador das inovações ambientais é a própria política da empresa, além da pressão das comunidades locais, pressão das ONGs, pedidos de clientes e redução de custos. Para os setores não poluidores, os autores evidenciaram que as principais motivações foram fatores relacionados à competitividade dos bens exportados, pressão das comunidades locais e atendimento às exigências da instituição financeira que financia o estabelecimento. Assim, os resultados mostraram que os fatores que mais influenciam a adoção de processos mais limpos são: tamanho (número de empregados), natureza do capital, grau de exportação, pressão da comunidade, redução de custos e subsídios. Em menor importância seriam o acesso ao crédito governamental, a pressão da comunidade local e das organizações não governamentais e as sanções de inspeções regulatórias

¹³ São considerados setores poluidores Químico e Farmacêutico, Mineral Não-Metálico, Metalurgia, Alimentos, Bebidas, Papel e Papelão e Madeireiro. Os não poluidores são Termoplástico, Mecânico, Descartáveis, Eletroeletrônico Bens Finas e Componentes e Transporte Duas Rodas.

sistemáticas. Vale ressaltar que a influência desses determinantes também varia de acordo com cada setor.

Seroa da Motta (2006) utilizou dados de uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 1997, com 325 empresas de médio e grande porte. O autor construiu um índice de adoção de práticas ambientais e utilizou o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para analisar seus determinantes. Os resultados obtidos indicam que os principais determinantes das práticas ambientais são o tamanho da empresa (total de empregados), motivação de redução de custos e as pressões sociais das ONGs e comunidades locais.

Gonçalves e Simões (2005) aplicaram técnicas de análise estatística multivariada a variáveis da PINTEC, referentes aos esforços de aprendizagem e incorporação tecnológica com o objetivo de compreender as características dos esforços setoriais de inovação. Entre outras particularidades nacionais, os autores destacaram que o nível de gastos em atividades inovadoras é maior em setores que foram objetos da política industrial nas décadas de 1960 e 1970 – aeronáutica e siderurgia. Além disso, eles verificaram que setores com maiores oportunidades tecnológicas apresentam esforços reduzidos em P&D, o que revela a característica do sistema nacional de passividade e dependência de canais internacionais de transferência tecnológica.

Kannebley Jr., Porto e Pazello (2004), utilizando dados da PINTEC 2000, concluíram que os fatores distintivos entre empresas inovadoras e não-inovadoras no Brasil são, em ordem decrescente de importância, a orientação exportadora, o tamanho da empresa, a origem estrangeira do capital e o componente setorial. Porém, ao estabelecerem os determinantes específicos do desempenho inovativo em processo ou em produto, as sequências encontradas se modificaram. O comportamento inovador em processo é governado essencialmente pela origem estrangeira do capital e pelo setor de atuação da empresa. Já o comportamento inovador em produto é explicado pela orientação exportadora da empresa e a origem estrangeira do capital. Esse resultado sugere que, muito provavelmente, a natureza da inovação – produto ou processo – é um elemento mais relevante para a compreensão dos determinantes do comportamento tecnológico das empresas do que normalmente lhe é atribuído.

Ferraz e Seroa da Motta (2001) desenvolveram uma modelagem econométrica para tentar explicar a probabilidade de a firma realizar investimento ambiental no ano de 1996 levando em conta 10.070 empresas localizadas no Estado de São Paulo, a partir dos dados da Pesquisa de Atividade Econômica Paulista (PAEP). Os autores concluíram que o tamanho, a propriedade estrangeira, a intensidade de exportação e regulação ambiental aumentam a

probabilidade da empresa realizar a inovação ambiental (variável *dummy*). Além disso, os resultados desse estudo sugerem que firmas com alto grau de atividade de P&D tendem a fazer mais investimento ambiental que as demais.

De modo geral, os estudos mostraram que a regulação tanto formal¹⁴ e informal¹⁵ apresentam um papel importante na adoção de inovações ambientais. A regulação ambiental informal está relacionada à execução fraca da regulação, de modo que as empresas podem respeitar as normas ambientais devido à pressão por parte dos consumidores locais. Desse modo, o desempenho ambiental das empresas pode ser afetado conjuntamente pela regulação formal e informal, e a regulação formal pode em grande parte ser influenciada pela regulação informal e mais especificamente por pressões sociais das ONGs e dos consumidores locais (FÉRES e REYNAUD, 2012). Os estudos apontaram ainda a importância do tamanho da firma, a intensidade de exportações, as forças internas (imagem e pressão corporativa) e a heterogeneidade setorial como características que influenciam à realização de inovação ambiental. Ademais, verificou-se uma controvérsia sobre a influência das forças de mercado na adoção de inovação ambiental, de modo que, além da oferta, a demanda também pode influenciar a adoção de inovações ambientais.

3.2 Inovação Ambiental e Produtividade

Grande parte da literatura sobre a inovação ambiental a nível de empresa se concentra na identificação dos determinantes da inovação ambiental e utilizam, em sua maioria, a definição restrita de inovação ambiental, cujo objetivo *a priori* é a redução de impactos ambientais. Essa literatura dedicou pouca atenção aos efeitos da inovação ambiental, considerando o seu conceito mais amplo, sobre o desempenho ou produtividade das empresas, quando comparado às pesquisas empíricas sobre inovações convencionais. A análise dos impactos da inovação ambiental sobre a produtividade tem sido predominantemente desenvolvida, indiretamente, por estudos que tentam avaliar a validade da controversa Hipótese de Porter¹⁶ (PORTER e LINDE, 1995).

¹⁴ Regulação ambiental formal corresponde a todos os tipos de mecanismos implementados pelas autoridades públicas para regular as emissões de poluentes (FÉRES e REYNAUD, 2012).

¹⁵ Regulação ambiental informal corresponde a todos os tipos de ações tomadas pelos cidadãos, grupos de cidadãos ou Organizações Não-governamentais (ONGs) ou pelo mercado (consumidores ou investidores) com o objetivo de modificar o comportamento das empresas poluentes (FÉRES e REYNAUD, 2012).

¹⁶ Como já mencionado no capítulo anterior, há pelo menos três interpretações diferentes para a Hipótese de Porter: 1) a versão limitada (sobre uma regulação mais flexível): certos tipos de regulações ambientais estimulam a inovação; 2) a versão fraca: regulação estimulará certos tipos de inovação; e, 3) a versão forte: regulação induz à

A fim de testar a validade empírica da Hipótese de Porter, muitos autores têm desagregado a mesma geralmente em duas partes. A primeira parte refere-se à relação entre o rigor da regulação ambiental e adoção de inovação e a segunda parte considera a proposição de que a inovação ambiental pode mais do que compensar o seu custo inicial e, posteriormente, aumentar o desempenho dos negócios das empresas (medida como lucratividade ou produtividade).

Desse modo, Porter e Linde (1995) apontam que se a regulação for devidamente formulada e as empresas estiverem sintonizadas com as possibilidades de ganhos, a inovação pode minimizar e até mesmo compensar o custo de conformidade, impactando diretamente sobre a produtividade. Portanto, o rigor da regulação ambiental se mostra importante no sentido de que uma regulação ambiental mais rigorosa e específica pode forçar as empresas poluentes a buscar inovações para reduzir o custo da melhoria do impacto ambiental, incrementar também a competitividade e levar a uma possível relação positiva entre o desempenho ambiental e econômico.

A literatura aponta algumas *proxies* para mensurar o rigor da regulação ambiental. Em relação ao rigor da política ambiental, pode-se apontar: os custos de redução da poluição, diretamente relacionado com o cumprimento da legislação ambiental, uma vez que o custo da redução da poluição deve aumentar quando os regulamentos forem mais rigorosos; e, o número de fiscalização das atividades de monitoramento do governo. Outras alternativas podem apontadas pelo número e quantidade de avaliação ambiental (notificações) recebidas pela empresa; e, pelos levantamentos sobre o projeto de política ambiental, onde os entrevistados são questionados sobre a rigorosidade, flexibilidade e estabilidade da legislação ambiental, e também sobre o enquadramento em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo.

Marin (2014) utiliza uma expansão da função de produção Cobb Douglas para verificar como o número de pedidos de patentes ambientais por empregado (tecnologia ambiental definida pela OCDE, a tecnologia de energia renovável e gestão de resíduos e poluição) afeta a produtividade do trabalho (valor acrescentado por empregado) em empresas industriais italianas. O estudo conclui as inovações ambientais têm pouco impacto positivo na produtividade (em comparação com os efeitos da inovação convencional). No entanto, a análise

inovação cujos benefícios excedem seus custos, tornando o regulamento socialmente desejável, mesmo ignorando os problemas ambientais que estava destinado a resolver (JAFFE e PALMER, 1997).

não considera explicitamente o papel do rigor de regulação ambiental sobre a inovação ambiental e produtividade.

Doran e Ryan (2012) também comparam o impacto de inovações ambientais e convencionais na performance da empresa. Os autores utilizam uma função de produção de conhecimento aumentada e dados da Pesquisa de Inovação no período de 2006-2008 para 2.181 empresas irlandesas para avaliar o impacto da inovação ambiental e convencional, medida como variável binária, sobre o volume de negócios por empregado das empresas. Os resultados das estimativas dos autores indicaram que as empresas que adotam inovação ambiental têm níveis mais elevados de volume de negócios por empregado do que as empresas que introduzem inovação convencional.

Leeuwen e Mohnen (2013) investigaram até que ponto a eco-inovação e as inovações convencionais são caracterizadas pela complementaridade ou substituição do seu efeito sobre a produtividade. A análise dos autores, com base em um painel de empresas holandesas, não encontra nenhum efeito da eco-inovação sobre a produtividade. Já Ghisetti e Rennings (2014) mostram que para as empresas alemãs existe uma relação positiva entre a eco-inovação que visa a melhoria de recursos e eficiência energética e o desempenho financeiro (retorno sobre as vendas), enquanto uma relação negativa emerge para eco-inovações que visam a redução das externalidades ambientais (por exemplo, redução do impacto sobre o meio ambiente).

Uma contribuição recente de Dechezleprêtre *et al.* (2014) investigou se as tecnologias “verdes” diferem de tecnologias em outras áreas em termos de geração de *spillovers* de conhecimento. Os autores mostraram que os *spillovers* de conhecimento gerados por patentes que pertencem a quatro domínios tecnológicos verdes (produção de energia, automóveis, combustível e iluminação) são substancialmente maiores do que os gerados por patentes pertencentes a quatro tecnologias substitutas correspondentes. Além disso, os *spillovers* de conhecimento de patentes verdes são maiores em magnitude do que os decorrentes de outras áreas recentes de tecnologia de ponta como a biotecnologia, a nanotecnologia e robótica, enquanto eles são apenas ligeiramente (mas significativamente) menores do que para as tecnologias da informação.

Soltmann *et al.* (2013) exploram dados em painel com 7.920 indústrias manufatureira de 12 países da OCDE em um período de 30 anos (1980-2009). Os autores utilizaram uma função de produção Cobb Douglas e efeitos fixos para regredir o estoque de patente verde sobre o valor adicionado total (*proxy* de produção). Em seu estudo, as patentes verdes seguiam a definição da OCDE, que compreende o controle da poluição, controle de poluição da água, gestão de resíduos sólidos e energia renovável. Os autores encontraram uma relação em formato

de U entre a intensidade de patentes verdes e a produtividade, em outras palavras, para a maioria das indústrias, um nível intensidade de patentes verdes afeta a produtividade negativamente. O ponto de viragem é consideravelmente alto, o que implica que apenas algumas indústrias, com grande estoque de patentes verdes, são mais propensas a apresentar efeito positivo sobre a produtividade.

Cefis e Ciccarelli (2005) investigam empiricamente os efeitos das atividades inovadoras sobre a performance das empresas, utilizando um painel de empresas da indústria do Reino Unido. Levando em conta a heterogeneidade das firmas e dos setores, eles encontram um efeito positivo da inovação sobre os lucros; diferença na lucratividade entre os inovadores e os não-inovadores, bem como a persistência de longo prazo em diferenciais de lucro. No entanto, outros estudos empíricos (GEROSKI *et al.*, 1997), utilizando dados do nível de firmas dos EUA e do Reino Unido, encontraram que poucas empresas inovadoras são persistentemente inovadoras, e isto só acontece, geralmente, depois que um nível no desempenho inovativo é atingido.

Rexhäuser e Rammer (2011), por sua vez, distinguem as inovações ambientais que reduzem diretamente o consumo de recursos (energético ou material) das inovações ambientais que reduzem danos ambientais sem aumentar a eficiência de recursos. O estudo utiliza dados de empresas alemãs da *Community Innovation Survey* (CIS) em 2009 e estima os impactos destes dois tipos de inovações ambientais sobre a lucratividade da empresa. Os autores concluem que as inovações ambientais que melhoram a eficiência dos recursos têm um impacto positivo e significativo sobre a lucratividade das firmas, enquanto que as inovações ambientais que apenas reduzem os danos ambientais têm impacto negativo sobre a lucratividade das firmas.

Albrizio *et al.* (2014) analisaram o efeito das mudanças de política de regulação ambiental sobre o crescimento da produtividade nos países da OCDE. Os autores experimentaram um novo índice do rigor da política ambiental (*Environmental Policy Stringency* – EPS), e testaram uma forma reduzida do modelo do crescimento da produtividade multi-fatorial, que leva em conta que o efeito das medidas de política ambiental varia com a intensidade da poluição da indústria e o avanço tecnológico. Os resultados sugerem que o crescimento da produtividade é afetado negativamente pela mudança de política depois de um ano. Entretanto, o efeito negativo é compensado três anos após a realização da mudança de política ambiental.

Acemoglu *et al.* (2012) apontam que as mudanças no preço relativo da energia têm um efeito importante sobre os tipos de tecnologias que são desenvolvidas e adotadas. O uso intensivo de energia ou poluentes fazem com que as empresas tenham diferentes incentivos em

relação a outras empresas, para desenvolver ou adotar eco-inovações. Ademais, os autores argumentam que, sem uma intervenção do governo, a economia seria rapidamente levada a um desastre ambiental, pois a vantagem inicial da produtividade direcionaria a inovação e a produção para o setor de insumos “sujos”, contribuindo para a degradação ambiental. No entanto, uma regulação ambiental seria suficiente para redirecionar a mudança técnica e evitar um desastre ambiental.

Lanoie *et al.* (2011) combinaram duas versões da Hipótese de Porter: a ligação entre a intensidade da regulação e a inovação ambiental e o impacto da regulação ambiental no desempenho dos negócios da empresa. Os autores utilizaram dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) realizada com mais de 4.200 empresas localizadas em sete países industrializados e aplicaram o método dos Mínimos Quadrados em Dois Estágios. Os resultados do primeiro estágio mostraram uma ligação positiva e significativa entre o rigor das regulações ambientais e a inovação ambiental, o que é consistente com a versão “fraca” da HP. Além disso, a inovação ambiental tem um impacto positivo e significativo sobre o desempenho dos negócios. Isso evidencia a ligação de causalidade sugerida pela versão “forte” da HP. No entanto, Lanoie *et al.* (2011) também notam que a regulação ambiental tem um efeito negativo direto sobre o desempenho do negócio. Em suma, eles acham que o efeito líquido é negativo, isto é, o efeito positivo da inovação no desempenho dos negócios não compensa o efeito negativo do próprio regulamento.

Em relação aos estudos da indústria brasileira, Podcameni e Queiroz (2014) utilizaram um modelo *probit* para a PINTEC 2003 para estimar o impacto da inovação ambiental sobre a competitividade das firmas. Nesse estudo, a competitividade é uma variável binária que apresenta valor 1 (um) quando as firmas declaram que tem mantido ou expandido o seu *market share* e/ou conquistado novos mercados. Os resultados encontrados indicaram que a adoção de inovações ambientais não teve efeito direto sobre a competitividade das firmas inovadoras, mas se deu de forma indireta através da redução dos custos e aumento da qualidade dos produtos. As autoras concluem que, dentro do grupo das empresas inovadoras, as empresas que tiveram maiores chances de aumentar a competitividade foram as empresas que implementaram inovações com significativa redução do impacto ambiental.

De modo geral, os estudos apontaram que a produtividade é positivamente afetada pelas inovações ambientais. Empresas com grandes estoques de patentes verdes ou que adotaram inovação ambiental possuem níveis mais elevados de volume de negócios por empregado do que as empresas que introduzem apenas inovação convencional. Verificou-se ainda que, as inovações ambientais que melhoram a eficiência dos recursos têm um impacto positivo e

significativo sobre a lucratividade das firmas e que a heterogeneidade das firmas e setores também afeta a produtividade das firmas. Ademais, a regulação, quando bem definida, também impacta diretamente sobre a produtividade, de modo que uma regulação ambiental mais rigorosa auxiliaria no redirecionamento da mudança técnica. Entretanto, alguns dos estudos não encontraram nenhum efeito das inovações ambientais sobre a produtividade ou ainda que as inovações ambientais afetam a produtividade de forma negativa, principalmente, quando a adoção de inovação ambientais visavam a redução do impacto sobre o meio ambiente. Nesse perspectiva, ainda não há, na literatura empírica, um consenso sobre o efeito das inovações ambientais e da regulação sobre a produtividade.

4 METODOLOGIA

Após a apresentação teórica da inovação, da inovação ambiental e o impacto do processo inovativo sobre a produtividade e a revisão da literatura empírica, este capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia da pesquisa. Para tanto, a metodologia está dividida em duas partes: o modelo analítico e a fonte de dados. A primeira seção apresenta o banco de dados e a escolha das variáveis, enquanto a segunda seção apresenta o modelo CDM utilizado e as suas três etapas de estimações, bem como as especificações dos modelos econométricos.

4.1 Base de Dados e Descrição de Variáveis

Para a implementação do modelo CDM foi utilizada a combinação de duas bases de dados diferentes, ambas calculadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) e a Pesquisa da Indústria Anual (PIA). A primeira coleta informações relevantes sobre inovação e a segunda fornece variáveis relevantes sobre o desempenho econômico-financeiro das empresas. As informações da PIA e da PINTEC são divulgadas a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE versão 2.0.¹⁷ É importante notar que, enquanto a PIA é realizada todos os anos, a PINTEC é conduzida a cada 3 (três) anos, seguindo o Manual de Oslo (documento da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) que estabelece orientações para coleta e interpretação de dados de inovação na indústria) e recomendação da *Community Innovation Survey* (CIS).

Na construção dos dados em painel, utilizou-se as cinco edições da PINTEC: PINTEC 2000 (referente ao período entre 1998 e 2000), PINTEC 2003 (referente ao período entre 2001 e 2003), PINTEC 2005 (referente ao período entre 2003 e 2005), PINTEC 2008 (referente ao período entre 2006 e 2008) e PINTEC 2011 (referente ao período entre 2009 e 2011) combinadas com as PIAs de 2000 a 2011. Desse modo, foi possível criar um painel de 12 anos referente ao período de 2000 a 2011.

Os dados em painel permitem acompanhar a mesma unidade de referência, neste caso as firmas da indústria de transformação, ao longo do tempo. A vantagem da utilização dessa metodologia é a possibilidade de explorar as dimensões temporal e espacial dos dados, além de

¹⁷ O acesso aos dados ocorreu mediante aprovação de projeto encaminhado ao IBGE, sob o número de processo 03605.001848/2015-20. A manipulação dos dados e as estimações foram feitas diretamente da sala de sigilo do IBGE, no qual somente os resultados das estatísticas descritivas e das estimações finais foram entregues para a autora e reportadas pela mesma nesta tese.

fornecer outra vantagem que é o controle da heterogeneidade não observável entre as unidades de estudo (GUJARATI, 2010).

As variáveis extraídas dessas fontes podem ser vistas de forma sistemática no Quadro 1, nas quais estão organizadas em cinco grupos: atividades inovativas e inovação; fatores de produção e variáveis de resultado; ambiente concorrencial da firma; inserção internacional; e regulação, cooperação, capacitação e apoio do governo.

No primeiro grupo estão os dados referentes a atividades inovativas e a inovação ambiental, que são as variáveis dependentes, respectivamente, do primeiro e do segundo estágio do modelo CDM apresentado:

- O gasto com atividades inovativas é representado pelo cálculo dos gastos em P&D, o gasto em aquisição externa de P&D, aquisição de outros conhecimentos externos voltados para a inovação, aquisição de *software* voltado para a inovação, aquisição de máquinas e equipamentos voltados para a inovação e treinamento orientado ao desenvolvimento de produtos e processos novos diretamente ligados ao lançamento de um produto novo ou aperfeiçoado. A abrangência do investimento em atividades inovativas possui vantagem sobre o investimento em P&D usual, pois absorve um número maior de tipos de esforços inovativos por parte da empresa, uma vez que considera-se não somente as atividades inovadoras provenientes dos orçamentos formais das empresas, mas também uma variedade maior desses investimentos realizados pelas firmas. A definição proposta pelo estudo está fundamentada em Cohen e Levinthal (1989) que apresentam um conceito mais amplo de atividades inovativas que pode ser gerada por meio do investimento em P&D e também da capacidade de absorção tecnológica externa à firma. Entretanto essa definição apresenta algumas limitações por não levar em conta, por exemplo, as práticas informais de P&D, usuais nas pequenas e médias empresas. Ademais, as atividades de P&D voltadas para a imitação e a absorção de tecnologias, mesmo quando inseridas nos orçamentos de P&D das empresas, não são tratadas como produtoras de conhecimento novo nem de inovações.

- A inovação ambiental é representada por duas variáveis binárias: inovação ambiental ampla e restrita. A variável inovação ambiental ampla está associada ao conceito fraco de inovação ambiental, uma vez a inovação ambiental é tida como subproduto da inovação convencional. Essa variável é definida com base na questão v105 do questionário da PINTEC. Já a variável inovação ambiental restrita está associada ao conceito forte de inovação ambiental. Essa variável foi gerada com base no cruzamento de informações das variáveis inovação ambiental (v105 – referência ao questionário da PINTEC) e técnicas de gestão ambiental (v189 – referência ao questionário da PINTEC). Esse procedimento teve como objetivo captar

efetivamente as firmas que realizaram algum tipo de inovação com redução de impacto ambiental, cujo objetivo *a priori* era reduzir o impacto sobre o meio ambiente. Ademais, a variável inovação representa a inovação convencional e entra como variável dependente no modelo *probit* bivariado.

No segundo grupo estão as variáveis referentes aos dados da empresa sobre os fatores de produção:

- Número de pessoal ocupado, que serve como *proxy* para medir o tamanho da firma; intensidade de capital (valor do capital por trabalhador); e, o consumo de matérias primas por trabalhador.
- Valor da transformação industrial e a da produtividade do trabalho, construída com base no cálculo da razão entre o valor da transformação industrial e do número de pessoal ocupado. Cavalcante e De Negri (2014) apontam que mesmo sendo um indicador parcial é o que mais se relaciona com os padrões de vida da sociedade, além de ser facilmente decomposto setorialmente, permitindo a desagregação das análises. Esta última é utilizada como variável dependente no terceiro estágio do modelo CDM.

O terceiro grupo de variáveis refere-se ao ambiente concorrencial da firma, caracterizado por variáveis como:

- Regulação ambiental, representada por uma variável binária de caráter qualitativo, com valores unitários para aquelas empresas que responderam que a inovação possibilitou o enquadramento em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo com importância alta ou média; participação em projetos de P&D e inovação tecnológica em parceria com universidades ou parques tecnológicos; participação da firma no mercado (*market share*); condição de gerenciamento da inovação por parte da firma é representada pela variável controle e gerenciamento, que abrange o gerenciamento formal (marcas) e informal (segredo industrial, complexidade do desenho do produto) visando atender normas de certificação, *dummies* de nível de intensidade tecnológica e localização regional.

O quarto grupo de variáveis relaciona características que demonstram a inserção internacional da firma como:

- Capital estrangeiro, competitividade internacional e exportação. Assim, as firmas que estão inseridas em um ambiente concorrencial precisam levar em conta as mudanças nos padrões de consumo dos consumidores que se tornaram mais exigentes em relação à preservação ambiental. De modo similar, as firmas de capital estrangeiro estão sujeitas às ordens de sua matriz que exige que as regras e padrões mundiais sejam seguidos de forma mais

rigorosa. Ademais, as firmas exportadoras estão mais expostas às regulações e normas ambientais mundiais e, portanto, precisam se adequar aos padrões ambientais externos para permanecerem no mercado internacional.

No quinto grupo, estão as variáveis que representam características mais voltadas para o processo inovativo em si e de capacitação:

- Arranjo cooperativo refere-se à firma que cooperou com outras empresas para o desenvolvimento de alguma inovação. A variável qualidade da mão de obra, relacionada ao fato da empresa possuir trabalhadores de nível superior nas atividades de P&D e de apoio do governo. A variável apoio do governo possui o valor unitário para aquelas empresas que participaram de algum programa governamental para as suas atividades inovativas. Esses programas podem ser de incentivos fiscais, de financiamentos para projetos de P&D ou para aquisição de máquinas e equipamentos para inovar, e de subvenção econômica a atividades de P&D e à inserção de pesquisadores.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas

continua

Códigos	Variáveis	Descrição	Fontes
Atividades Inovativas e Inovação			
DI	Decisão de investir em inovação	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma tenha realizado investimentos de atividades inovativas	PINTEC
G	Gasto com Atividades Inovativas	Valor do investimento total em atividades inovativas (em Reais)	PINTEC
IA	Inovação Ambiental ampla	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma tenha realizado inovação com redução de impacto sobre o meio ambiente	PINTEC
IA	Inovação Ambiental restrita	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma tenha realizado inovação com redução de impacto sobre o meio ambiente e implantado técnicas de gestão ambiental	PINTEC
IC	Inovação Convencional	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma tenha realizado inovação convencional	PINTEC
Fatores de Produção e Variáveis de Resultado			
PO	Pessoal Ocupado	Número de Trabalhadores. Capta o tamanho da empresa.	PIA
K	Valor do Estoque de Capital por trabalhador	Valor do estoque de capital físico por trabalhador (em Reais)	PIA
MP	Consumo de matérias-primas por trabalhador	Valor do consumo de matérias-primas por trabalhador (em Reais)	PIA

continuação

VTI	Valor da Transformação Industrial	Valor da Transformação Industrial (em Reais)	PIA
PT	Produtividade do Trabalho	Razão entre o valor da transformação industrial (VTI) e o número de pessoal ocupado (PO) (em Reais)	PIA
Ambiente Concorrencial			
REG	Regulação Ambiental	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma se enquadre em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo	PINTEC
UNFs	Universidades	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma esteja vinculada a alguma universidade, incubadora ou parque tecnológico	PINTEC
Mkt	<i>Market share</i>	Participação da receita líquida de vendas (RLV) da firma sobre a receita líquida de vendas total do setor de atividade econômica à qual ela pertence, definido a partir de dois dígitos da Classificação Nacional de Atividade Econômica 2.0 (CNAE 2.0)	PINTEC
Controle	Controle e gerenciamento	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma realize gerenciamento formal (marcas) e informal (segredo industrial, complexidade do desenho do produto) visando atender normas de certificação	PINTEC
Intec	Intensidade Tecnológica	Conjunto de 4 variáveis binárias de intensidade tecnológica, que recebem valores unitários caso a firma faça parte de uma atividade econômica com intensidade tecnológica baixa, média-baixa, média-alta e alta, definido a partir de dois dígitos da classificação elaborada pela OCDE (HIGH-TECNOLOGY, 2009)	PINTEC
Inf cad	Fonte de Informação com a Cadeia Produtiva	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma aponte fontes de informação relacionadas à cadeia produtiva (interna, com grupo, com fornecedores, com clientes e/ou com consultores)	PINTEC
Região	Região Geográfica	Conjunto de 5 variáveis binárias de regiões geográficas, que recebem valores unitários caso a firma esteja localizada em uma dessas cinco regiões do Brasil (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste)	PINTEC
Inserção Internacional			
Compet	Competitividade Internacional	Variável Binária, que recebe valor unitário caso o principal mercado da firma seja estrangeiro	PINTEC
Capcontr	Capital controlador	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a origem do capital controlador da firma seja nacional e zero caso seja estrangeiro ou misto	PINTEC
Exp	Exportação	Valor percentual das exportações	PINTEC

conclusão

Cooperação, Capacitação e Apoio do Governo			
Coop	Arranjo Cooperativo	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma esteve envolvida em arranjos cooperativos com outra(s) organização(ões) com vistas a desenvolver atividades inovativas	PINTEC
Quali	Qualidade da mão de obra	Variável Binária, que recebe valor unitário caso a firma possua mão de obra com nível de qualificação superior nas atividades internas de P&D	PINTEC
Ap_Gov	Apoio do Governo	Varável Binária, que recebe valor unitário caso a firma utilize algum programa de apoio do governo para as atividades inovativas	PINTEC

Fonte: Elaboração própria.

Além das variáveis relacionadas no Quadro 1, cabe destacar o recorte dado pelo nível de intensidade tecnológica e de atividade econômica que a empresa pertence. A intensidade tecnológica que se define como o nível de conhecimento incorporado aos produtos das empresas de cada setor industrial, tem como indicador os gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a Receita Líquida de Vendas (RLV). Para definir os níveis de intensidade tecnológica, a literatura em geral, utiliza a classificação da OCDE que, essencialmente apoiada na relação entre os gastos em P&D e o valor agregado ou nos gastos em P&D e a RLV, reúne os setores da indústria de transformação em quatro grupos principais de intensidade tecnológica: alta, média-alta, média-baixa e baixa (OCDE, 2010).

Para os setores industriais brasileiros, a classificação da OCDE é interessante, pois a PINTEC, que possibilita um salto qualitativo em matéria de dados sobre esforços tecnológicos de empresas industriais brasileiras, apresenta-se em um padrão semelhante ao da OCDE (FURTADO *et al.*, 1994). Desse modo, utiliza-se a classificação da OCDE e adaptada pela Eurostat (HIGH-TECNOLOGY, 2009) para classificação compatível com a CNAE 2.0.

Com base nessa definição, a intensidade tecnológica é definida em quatro níveis: baixa, baixa-média, média-alta e alta. A definição em quatro níveis está representada pela variável “Intec” especificada no Quadro 1 para ser utilizada nas estimações dos modelos econométricos, além de ser útil para delimitar quatro conjuntos de amostras de acordo com os seus padrões tecnológicos. Já a relação entre a classificação de intensidade tecnológica em quatro níveis e em atividades econômicas (CNAE 2.0) está representada pelo Quadro 2, nos quais estão selecionados apenas setores da indústria de transformação.

Quadro 2 – Classificação das atividades econômicas e níveis de intensidade tecnológica

Intensidade Tecnológica	Atividades Econômicas CNAE 2.0
Baixa	Fabricação de produtos alimentícios Fabricação de bebidas Fabricação de produtos do fumo Fabricação de produtos têxteis Confecção de artigos de vestuário e acessórios Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados Fabricação de produtos de madeira Fabricação de celulose, papel e produtos de papel Fabricação de móveis Fabricação de produtos diversos Impressão e reprodução de gravações
Média-Baixa	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis Fabricação de artigos de borracha e plástico Fabricação de produtos de minerais não metálicos Metalurgia Fabricação de produtos de metal Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
Média-Alta	Fabricação de produtos químicos Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos Fabricação de máquinas e equipamentos Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias Fabricação de outros equipamentos de transporte
Alta	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos

Fonte: Elaboração própria.

Pelo Quadro 2, percebe-se que das 24 atividades econômicas (em dois níveis pela CNAE 2.0) da indústria de transformação levantadas pela PINTEC, onze são consideradas de baixa intensidade tecnológica, seis são consideradas de média-baixa intensidade, cinco são consideradas de média-alta intensidade e apenas duas são consideradas de alta intensidade tecnológica. Desse modo, 17 atividades econômicas são de baixa e média-baixa intensidade, enquanto 7 são de média-alta e alta intensidade tecnológica.

4. 2 Modelo Analítico

A metodologia utilizada baseia-se no modelo estrutural proposto por Crépon, Duguet e Mairesse (1998) conhecido como “modelo CDM”. O modelo CDM é composto por três etapas que procuram descrever o processo inovativo e sua relação com a produtividade. O arcabouço

analítico do presente trabalho pode ser entendido como uma variação do modelo CDM original ao considerar especificamente a inovação ambiental.

O modelo CDM é por formado por três relações que podem ser expressas da seguinte forma:

- (1) A relação entre as atividades inovativa e seus determinantes. Isto é, decisão da empresa em investir em atividades inovativas e o nível dos gastos nestas atividades (i.e., a intensidade do esforço inovativo);
- (2) A relação entre a inovação ambiental e seus determinantes, levando em conta a intensidade do esforço inovativo estimada na primeira etapa;
- (3) A relação entre inovação ambiental e produtividade.

Essas três relações formam os três estágios do modelo CDM. Em suma, as atividades inovativas, como Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), explicam a inovação ambiental e a inovação ambiental explica a produtividade. A lógica do sistema pode ser verificada pela Figura 2, que relaciona as variáveis dependentes (gastos atividades inovativas, inovação – representada pela inovação ambiental – e produtividade) no seu processo em três estágios. Os diagramas quadrados denotam as variáveis que podem ser mensuradas, enquanto o diagrama oval, representado pelo capital de conhecimento, é uma variável não observável. Esse capital de conhecimento seria o nível de conhecimento da firma criado a partir do investimento em inovação (Etapa 1), ou seja, a participação de mercado e diversificação da firma gera investimento em P&D e, portanto, capital de conhecimento. Esse processo de transformação dos esforços inovativos em inovação está relacionado com o termo “função de produção de conhecimento” de Griliches (1979) (Etapa 2), isto é, o capital de conhecimento gera investimento em inovações. E, essa inovação provoca efeitos diretos sobre a produtividade (Etapa 3). Ademais, todas as etapas são influenciadas pelas características das firmas e forças internas e externas à mesma.

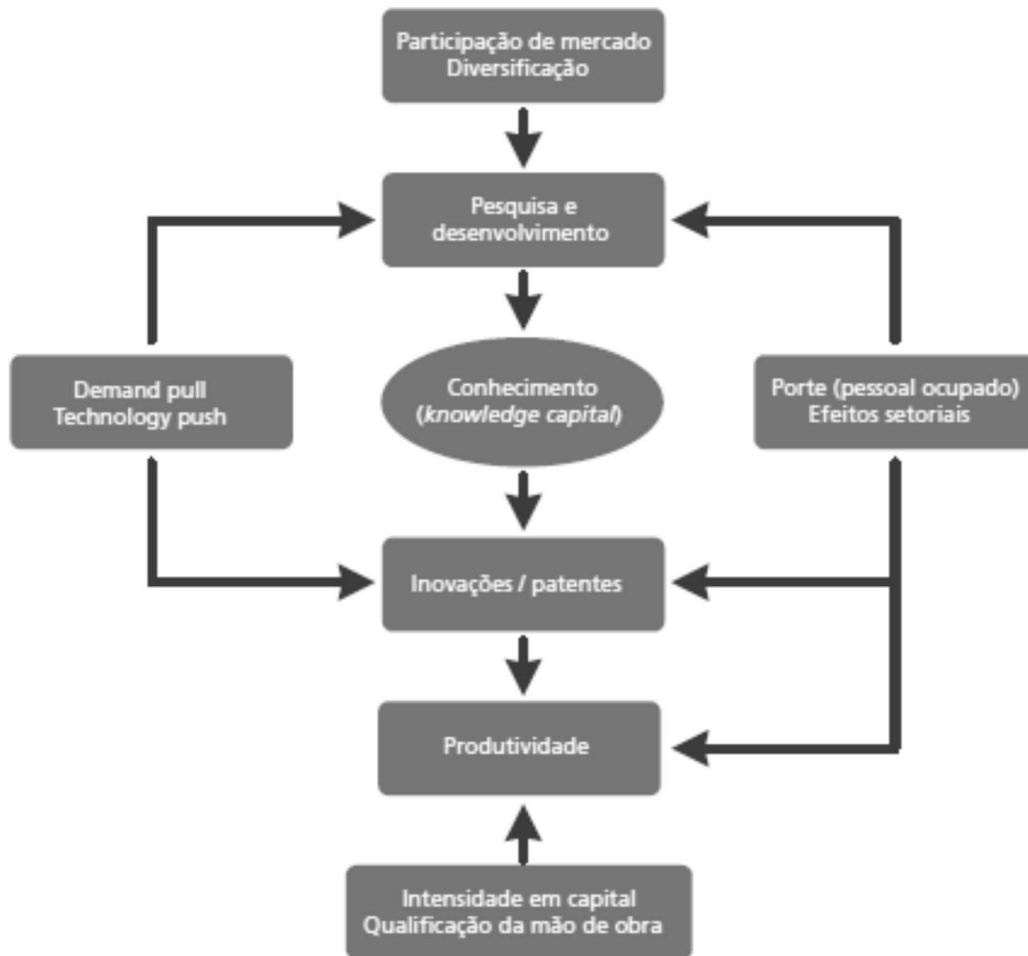


Figura 2 – Diagrama do Modelo CDM.

Fonte: Crépon, Duguet e Mairesse (1998, p. 22).

Com a utilização das bases de dados e as três etapas do modelo CDM, dividiu-se o trabalho empírico em duas partes. A primeira parte tem como objetivo caracterizar o perfil das empresas brasileiras da amostra de acordo com as variáveis que podem estar relacionadas com a inovação ambiental. Para isso, é feita uma análise de estatística descritiva das variáveis destacadas nos Quadros 1 e 2. Já a segunda parte tem como objetivo compreender o processo inovativo voltado para o meio ambiente e seu impacto no desempenho produtivo por meio de estimações econométricas. Essas estimações seguem o modelo CDM em três estágios apresentado.

Em ambas as partes, a análise é feita com relação ao conjunto de amostras referentes aos padrões tecnológicos, ou seja, na classificação de intensidade tecnológica destacada no Quadro 2. Essa divisão é útil para destacar as diferenças setoriais, tanto no perfil da empresa, quanto na verificação do impacto da variável de inovação ambiental sobre a produtividade em diferentes níveis de intensidade tecnológica. Desse modo, considerar as diferenças e peculiaridades entre os setores são extremamente relevantes para a análise da dinâmica

inovativa, pois esta depende das oportunidades tecnológicas percebidas pelas indústrias. A capacidade inovativa das indústrias influencia a estrutura produtiva das mesmas, o que modifica as heterogeneidades setoriais existentes principalmente nos países em desenvolvimento (AVELLAR *et al.*, 2010).

Cabe ressaltar que apesar do esforço de considerar as diferenças setoriais através de quatro níveis de intensidade tecnológica, deve-se evidenciar que a agregação ainda é bastante ampla ao analisar as especificidades de cada atividade econômica. Dessa maneira, algum ramo industrial pode não responder bem aos critérios estabelecidos. Porém, a estratificação em quatro níveis já mostra um avanço ao buscar entender os padrões tecnológicos frente à maioria dos outros trabalhos empíricos analisados, que não se preocuparam em fazer essas considerações.

4.2.1 Equações de Esforço Inovativo

No primeiro estágio, como no modelo CDM padrão, considera-se a decisão de gastos com atividade inovativas. No presente estudo, ao contrário do modelo CDM, o esforço inovativo será mensurado como uma variável de fluxo, ao invés de uma variável de estoque. Assim, o comportamento do esforço inovativo da firma pode ser estimado por meio do modelo de Heckman (HECKMAN, 1979)¹⁸. O modelo de Heckman consiste em estimar duas equações: a equação de seleção considera o fato da firma realizar algum investimento em atividades inovativas, enquanto a equação de resultado mede a magnitude ou intensidade dessa atividade (VERBEEK, 2000).

No presente estudo, o esforço inovativo abrange não apenas as atividades de P&D, mas outras atividades inovativas dada a disponibilidades desses dados pela Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC). Desse modo, o gasto em atividades agrega, além de gastos de P&D, o gasto em aquisição externa de P&D, aquisição de outros conhecimentos externos voltados para a inovação, aquisição de *software* voltado para a inovação, aquisição de máquinas e equipamentos voltados para a inovação e treinamento orientado ao desenvolvimento de produtos e processos novos.

A abrangência do investimento em atividades inovativas possui vantagem sobre o investimento em P&D usual, pois absorve um número maior de tipos de esforços inovativos por parte da empresa, uma vez que considera-se não somente as atividades inovadoras provenientes dos orçamentos formais das empresas, mas também uma variedade maior desses

¹⁸ Para maiores detalhes desse tipo de estimação ver Wooldridge (2002) e Cameron e Trivedi (2005).

investimentos realizados pelas firmas, além de considerar a interdependência dessas atividades. Nesse contexto, Cohen e Levinthal (1989) apresentam esse conceito mais amplo de atividades inovativas e demonstram que a inovação a partir da determinação de estoque de conhecimento da firma pode ser gerada por meio do investimento em P&D e também da capacidade de absorção tecnológica externa à firma.

Kleinknecht e Verspagen (1989) e Kleinknecht *et al.* (1991) apontam que essa definição mais ampla pode ainda conter limitações, uma vez que as práticas informais de P&D, usuais nas pequenas e médias empresas, não são consideradas nesses levantamentos. Além do mais, as atividades de P&D voltadas para a imitação e a absorção de tecnologias, mesmo quando inscritas nos orçamentos de P&D das empresas, não eram tratadas como produtoras de conhecimento novo nem de inovações.

Desse modo, no primeiro estágio do modelo CDM, a variável de interesse é o gasto com atividades inovativas realizado por uma firma. Nesse sentido, existem problemas associados à potencial endogeneidade decorrente de viés de seleção. Caso características não observadas que afetem a decisão do nível de gastos tanto em atividade inovativas quanto na decisão de investir ou não nessas atividades não sejam levadas em conta, a estimação da equação de gastos em atividades inovativas pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) torna-se inadequada. Alternativamente, o viés de seleção amostral é tratado por meio do procedimento de Heckman (1979), o qual permite tratar o problema de erro de especificação ao propor uma equação de seleção. Sendo assim, o modelo de seleção amostral desenvolvido por Heckman (1979) é considerado o mais adequado, pois corrige o problema de viés de seleção amostral que a estimação por MQO normalmente apresenta.

Nesse estudo, o problema de viés de seleção ocorre pelo fato da variável de gastos com atividades inovativas ser observada somente se a firma realizar algum tipo de inovação. Se a firma não realiza inovação, não é possível observar o seu gasto com atividades inovativas. Assim, para contornar o problema de viés de seleção, o modelo de seleção amostral considera explicitamente a decisão da firma de participar da amostra através da equação de seleção.

Mais precisamente, assume-se que existe uma variável dependente denotada por G_{it} que corresponde ao gasto em atividades inovativas, para a firma i dada pela primeira equação:

$$G_{it} = X_{1it}\beta_1 + e_{it} \quad (13)$$

Em que X_{1it} são vetores de variáveis explicativas, β_1 é o vetor dos coeficientes associados (parâmetros), e_{it} é o termo de erro, $i = 1, 2, \dots, N$ – unidades de firmas e $t = 1, 2, \dots, T$ –

período de tempo (anos). Os determinantes das atividades inovativas estão relacionados à demanda induzida, à geração de avanços tecno-científicos e em função de características particulares da firma, como o seu tamanho e o setor de atuação. A variável G_{it} expressa algum critério de decisão, tais como o valor presente esperado de lucro da empresa que resulte em investimento em atividades inovativas. Observa-se que a empresa investe em atividades inovativas caso G_{it} seja positivo ou maior que um limiar constante, geral ou específico da indústria (CRÉPON, DUGUET e MAIRESSE, 1998). Assim, apenas as firmas que apresentam atividades inovativas poderiam ser estimadas diretamente pela equação (13). Entretanto, essa estimação direta não descarta o problema de viés de seleção, no qual apresentaria uma amostra bem reduzida somente com as firmas que fazem e reportam atividades inovativas (GRIFFITH *et al.*, 2006). Portanto, para evitar este viés, estima-se um modelo de seleção para o esforço observado e utiliza-se o valor previsto do esforço inovativo como *proxy* na função de produção de conhecimento. A equação de seleção (equação 14), que busca descrever a decisão da firma em realizar ou não realizar atividades inovativas, é dada por:

$$DI_{it} = \begin{cases} 1 & \text{se } DI_{it}^* = X_{2it}\beta_2 + \varepsilon_{it} > c \\ 0 & \text{se } DI_{it}^* = X_{2it}\beta_2 + \varepsilon_{it} \leq c \end{cases} \quad (14)$$

Em que DI_{it} é a variável binária que define a decisão ou não da firma em realizar inovação que assume valor 1 (um) para as firmas que investem em atividade inovativas e valor 0 (zero) para as firmas que não investem nessas atividades. No entanto, DI_{it}^* é uma variável latente correspondente, de modo que a firma toma a decisão de investir em atividades inovativas se estiver acima de um determinado nível de limiar c ¹⁹. X_{2it} é um vetor de variáveis que explicam a decisão de investir em atividades inovativas e β_2 é o vetor de parâmetros correspondentes e ε_i , um termo de erro. Na condição de que a firma i realize atividades inovativas, pode-se observar a intensidade (magnitude) de recursos destinados à atividades inovativas através da equação de resultado (15):

¹⁹ Em contraste com Crépon *et al.* (1998), Griffith *et al.* (2006) consideram a estimação da amostra total de empresas. Os autores consideram a hipótese de que todas as empresas exercer algum esforço inovativo. Por exemplo, os trabalhadores da produção podem gastar uma pequena parte do seu dia considerando a forma como o processo que eles estão trabalhando poderia ser realizado de forma mais eficiente. No entanto, abaixo de um determinado limiar, a empresa não poderá recolher dados de forma explícita sobre este esforço e, portanto, não irá relatar esse esforço. Esse tipo de esforço inovativo é um bem público para a empresa e que não será relatado como P&D ou qualquer outra atividade inovativa formal.

$$G_{it} = \begin{cases} G_{it} = X_{1it}\beta_1 + e_{it} & \text{se } DI_{it} = 1 \\ 0 & \text{se } DI_{it} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Assume-se que os termos de erro e_{it} e ε_{it} são bivariados normais com média zero, variâncias $\sigma_e^2 = 1$ e σ_ε^2 e coeficiente de correlação $\rho_{e\varepsilon}$, de modo que o sistema de equações (2) e (3) é um modelo de Heckman estimado por máxima verossimilhança²⁰. Em razão da variável G_i ser observada somente quando $DI_{it} = 1$ e considerando essas suposições sobre distribuição, seu valor esperado é definido conforme a equação (16):

$$E(G_{it}|DI_{it} = 1) = X_{1it}\beta_1 + \rho\sigma_e\lambda_{it} \quad (16)$$

Em que λ é a razão inversa de Mills, dada por:

$$\lambda_{it} = \frac{\phi(X_{2i}\beta_{2i}/\sigma_e)}{\Phi(X_{2i}\beta_{2i}/\sigma_e)} \quad (17)$$

Em que ϕ e Φ são, respectivamente, as funções de densidade de probabilidade e de distribuição acumulada de uma variável aleatória normal de distribuição padrão. A variável λ (*lambda*) é calculada com base nos parâmetros estimados na equação de seleção e servirá para corrigir o problema de viés da amostra, e assim, parâmetros consistentes poderão ser estimados, obtendo-se a equação de resultado.

Pela equação (4), pode-se observar que a estimação de (1) apenas com as firmas que realizaram atividades inovativas geraria um erro de especificação, por não incluir no modelo a variável relevante λ . Ao introduzir a razão inversa de Mills, corrige-se o viés de seleção. Para todos os casos em que λ não for significativo, o procedimento deve ser descartado e a estimação, utilizando-se a técnica de MQO, produziria estimadores não tendenciosos. Nos casos de significância, a razão inversa de Mills deve ser mantida como variável regressora e, portanto, a explicação para a inconsistência da estimação por MQO reside na omissão da inversa de Mills, o que resulta no erro de especificação descrito por Heckman (1979).

O modelo de seleção amostral apresentado pode ser estimado pelo procedimento de Heckman ou por máxima verossimilhança (CAMERON e TRIVEDI, 2009). O método de Heckman consiste em uma estimação de dois estágios, sendo que no primeiro estima-se por

²⁰ Wooldridge (2002) salienta que essa suposição de distribuição dos erros pode apresentar problemas de robustez e que a estimação por máxima verossimilhança é difícil de convergir, porém, a mesma se mostra eficiente se e_i e ε_i realmente possuem distribuição normal bivariada.

máxima verossimilhança a equação de seleção e obtêm-se β_2 para o cálculo da razão inversa de Mills (λ). No segundo estágio estima-se por MQO a equação de interesse, na qual $DI_{it}^* > 0$ e se obtêm as estimativas de β_1 e σ_e (GREENE, 2003). O método de máxima verossimilhança também é composto por duas partes, sendo que uma descreve a escolha binária e determina a probabilidade $P(DI_{it} = 1)$ ou $P(DI_{it} = 0)$ e a outra descreve a distribuição de G_{it} a partir de $DI_{it} = 1$. Consideradas as probabilidades constrói-se a função de verossimilhança, que quando maximizada gera as estimativas para os parâmetros β_1 e β_2 .

A estimação por máxima verossimilhança é a mais utilizada nos estudos empíricos que utilizam o modelo CDM. Assim, a estimação do modelo pode ser visto em Cameron e Trivedi (2009), no qual a função log-verossimilhança da observação i , sendo $\ln L_i = l_i$, é:

$$l_i = \begin{cases} w_i \ln \Phi \left\{ \frac{X_{2i}\beta_{2i} + (G_i - X_{1i}\beta_1)\rho/\sigma}{\sqrt{1-\rho^2}} \right\} - \frac{w_i}{2} \left(\frac{G_i - X_{1i}\beta_1}{\sigma} \right)^2 - w_i \ln(\sqrt{2\pi}\sigma) & \text{se } G_{it} > 0 \\ w_i \ln \Phi(-X_{2i}\beta_{2i}) & \text{se } G_{it} \leq 0 \end{cases} \quad (18)$$

Em que $\Phi(\cdot)$ é o padrão normal cumulativo e w_i é um peso opcional para a observação i . A partir dessa estimação, tem-se os efeitos marginais dos coeficientes das variáveis.

Vale destacar ainda que a equação de seleção é um modelo *probit* que busca analisar os fatores que influenciam a probabilidade de uma firma participar da amostra, isto é, realizar atividades inovativas. Desse modo, tecnicamente, o modelo de Heckman pode ser identificado quando as variáveis explicativas de seleção (X_{2it}) e de resultado (X_{1it}) são as mesmas. Entretanto, deve ser ressaltado que se as duas equações forem compostas pelas mesmas variáveis, o modelo só estará identificado pela forma funcional, ou seja, pelo fato que λ é não linear. Para não depender dessa identificação e para obter uma identificação mais robusta, Cameron e Trivedi (2005) apontam que devem ser impostas restrições de exclusão de variáveis. Isto requer que a equação de seleção tenha uma variável exógena que não é incluída na equação de resultado. Assim, a variável excluída deve ter um impacto substancial (não trivial) sobre a probabilidade de seleção, pois muitas vezes não é fácil escolher uma variável a ser excluída que não afete diretamente a equação de resultado e que afete a equação de seleção, de modo que se deve justificar a imposição da restrição de exclusão de determinadas variáveis.

Ademais, a identificação ocorre apenas nas suposições de distribuição sobre os resíduos por si só, e não devido a variações nas variáveis explicativas. Se houver pouca variação nas variáveis explicativas da equação de seleção, pode haver dificuldade para alcançar estimativas precisas na equação de resultado devido à alta multicolinearidade e altos erros-padrão

(SARTORI, 2003). Sartori (2003) sinaliza que a forma de evitar isso seria não colocar as mesmas variáveis explicativas nas duas equações ou utilizar pelo menos uma variável que afetaria, nesse caso, a decisão de inovar, mas que não afetaria a intensidade do esforço inovativo. Essa observação da diferenciação das variáveis explicativas das equações de resultado e de seleção é levada em conta pelo modelo proposto por este trabalho.

Nesse passo, o interesse está em analisar os determinantes dos gastos em atividades inovativas. Para evitar potenciais problemas de viés de seleção, como discutido anteriormente, adotou-se a abordagem proposta por Heckman. A equação de seleção corresponde à decisão de se investir em atividades inovativas. Em seguida, é estimada a equação de gastos em atividades inovativas.

Equação de seleção:

$$DI_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln PO_{it} + \delta_2 \ln Mkt_{it} + \delta_3 \text{Controle}_{it} + \delta_4 UNFs_{it} + \delta_5 \text{Intec}_{it} + \delta_6 \text{Região}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

Equação de gastos em atividades inovativas:

$$\ln G_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln PO_{it} + \beta_2 \ln Mkt_{it} + \beta_3 \text{Compet}_{it} + \beta_4 \text{Capcontr}_{it} + \beta_5 \text{Ap_Gov}_{it} + \beta_6 \text{Quali}_{it} + \beta_7 \text{Coop}_{it} + \beta_8 \text{Intec}_{it} + \beta_9 \text{Região}_{it} + \lambda_{it} + e_{it} \quad (20)$$

Em que os δ_i 's e o ε_{it} são, respectivamente, os parâmetros e o termo de erro da equação de seleção (19), enquanto os β_i 's e o e_{it} são, respectivamente, os parâmetros e o termo de erro da equação de resultado (20). As variáveis e seus respectivos códigos estão descritos no Quadro 1. A variável DI_{it} na equação de seleção (19) é uma variável binária com valor 1 se a firma informa gastos positivos em atividades inovativas.

As variáveis explicativas que são inseridas ou não nas equações de seleção e de resultado, com base na literatura empírica que utiliza o modelo CDM, não estão explícitas em pressupostos teóricos, de modo que essa seleção é mais importante para a robustez econométrica do modelo. Desse modo, a diferença entre as variáveis que explicariam a decisão de inovar e a intensidade dos gastos com inovação ocorre de forma bastante sutil e dada a limitação das variáveis disponíveis pelo questionário da PINTEC, as variáveis diretamente relacionadas à inovação (qualidade de mão de obra, arranjo cooperativo, apoio do governo,

competitividade internacional, capital estrangeiro) somente podem ser observadas para aquelas empresas inovadoras, o que obriga o direcionamento dessas para a equação de resultado. Na literatura do modelo CDM também não há um consenso sobre se a variável referente ao tamanho da firma (representado pelo número de pessoal ocupado) pertença apenas à equação de seleção, já que em muitos trabalhos a mesma aparece como única variável referente à estrutura de mercado da firma (CRÉPON, DUGUET e MAIRESSE, 1998).

Nesse sentido, fez-se necessário considerar a hipótese de que as variáveis relacionadas ao ambiente concorrencial, tais como tamanho da firma, *market share*, condição de controle, participação das universidades, estariam relacionadas com a decisão de investir ou não em atividade inovativas pela firma, enquanto que as variáveis mais diretamente relacionadas à inovação, capacitação e inserção internacional, tais como arranjo cooperativo, apoio do governo, qualificação da mão de obra, competitividade internacional e origem do capital controlador, estariam relacionadas à intensidade do investimento em atividades inovativas e também as variáveis tamanho da firma e *market share*, uma vez que os efeitos do tamanho da firma podem ser percebidos tanto pelo lado do esforço inovativo quanto nos resultados da inovação (*output* e *input*). Desse modo, o primeiro conjunto de variáveis estariam na equação de seleção e o segundo conjunto entraria na equação de resultado. E, variáveis de controle gerais como *dummies* regionais e de setor por intensidade tecnológica da empresa entrariam em ambas as equações.

Dentre os fatores representados na equação de seleção, as variáveis de tamanho e *market-share* envolvem as hipóteses schumpeterianas de que as maiores firmas e os mercados mais concentrados decidem investir mais em inovação, já que possuem vantagens para isso. A questão do controle (formal e estratégica) também entra nesse contexto, já que mercados que garantam condições de controle de gerenciamento da inovação e mecanismos de proteção informais incentivam mais a firma para a realização de investimento em atividades inovativas. Há também as variáveis de inserção internacional (capital estrangeiro e competitividade internacional), no qual empresas que possuem o seu principal mercado em outros países possuem uma maior demanda com consumidores externos, possibilitando maiores investimentos em P&D devido à concorrência internacional e mais investimentos em atividades inovativas pela sua proximidade com o mercado e com a tecnologia estrangeira. Uma limitação é a ausência de preços de mercado como variável dessa equação, uma vez que o se o preço do fator se tornar mais caro, conseqüentemente implicará na redução de investimento.

Com relação às variáveis que impactam a intensidade do investimento em atividades inovativas, entram novamente as variáveis de tamanho e *market-share* que envolvem as

hipóteses schumpeterianas de que as maiores firmas e com estruturas de mercado maiores gastam com inovação e as questões levantadas pelos economistas evolucionários sobre as questões de aprendizagem e conhecimento, quanto das questões mais gerais também levantadas pelos neoclássicos como o capital humano. A variável de arranjo cooperativo aborda a troca de conhecimentos entre os agentes econômicos, o que deve favorecer a um maior gasto em atividades inovativas por parte das firmas envolvidas. A variável de qualidade de mão de obra, representada pela presença de funcionários com nível de instrução superior ou acima, colabora com a visão da importância do capital humano para um maior investimento em inovação. Outra variável importante é o apoio do governo para financiamento, que está relacionada com o sistema nacional de inovação e com a estrutura de financiamento do país, no qual firmas que conseguem esse tipo de apoio devem investir mais em atividades inovativas.

4.2.2 Equação de Inovação Ambiental

O segundo estágio do modelo é representado pela função de produção de conhecimento, isto é, de inovação, que utiliza o *output* da etapa anterior como *input* desse novo estágio. Como citado anteriormente, essa equação representa uma variação do modelo CDM ao considerar, ao invés de inovação convencional, a inovação ambiental. Desse modo, a função de produção de conhecimento assume a seguinte forma:

$$\Pr(IA_{it} = 1) = \hat{G}_{it}\gamma + X_{3it}\beta_3 + \alpha_i + u_{it} \quad (21)$$

Em que IA_{it} é a variável de inovação, mensurada como inovação ambiental. Essa variável é binária, que assume valor 1 (um) se a firma adotou inovação ambiental e valor 0 (zero) se a firma não adotou. \hat{G}_{it} é a variável de esforço inovativo (gasto com atividades inovativas) previsto no estágio anterior, X_{3it} é o vetor de determinantes da produção de conhecimento, u_{it} é o termo de erro, α_i é a heterogeneidade setorial não-observada, enquanto γ e β_3 são os parâmetros, $i = 1, 2, \dots, N$ – unidades de firmas e $t = 1, 2, \dots, T$ – período de tempo (anos). O modelo utilizado para a estimação é um *probit*, sob máxima verossimilhança com dados em painel, como é verificado no trabalho de Griffith *et al.* (2006).

O valor da variável \hat{G}_{it} é encontrado por meio da equação (15) do modelo de Heckman pelo valor previsto de G_{it} . O problema é a possibilidade de endogeneidade para a função de produção de inovação, de modo que parece provável que as características não observadas das

firmas podem aumentar tanto o seu esforço inovativo (G_{it}) quando a sua inovatividade com redução de impacto sobre o meio ambiente (IA_{it}). Logo, o parâmetro γ_i seria tendencioso, pois g_i e u_i estariam correlacionados. Entretanto, as equações de seleção e de esforço inovativo corrigem essa situação ao considerar o seu valor estimado \hat{G}_{it} (e não o seu valor presente) como instrumento para a equação de inovação ambiental, pois X_{1i} e X_{3i} são independentes de u_i (GRIFFITH *et al.*, 2006)²¹.

Desse modo, o modelo empírico por ser apresentado da seguinte forma:

$$\Pr(IA_{it} = 1) = \theta_0 + \theta_1 \ln \hat{G}_{it} + \theta_2 \ln PO_{it} + \theta_3 REG_{it} + \theta_4 Coop_{it} + \theta_5 Ap_Gov_{it} + \theta_6 Intec_{it} + \theta_7 Região_{it} + u_{it} \quad (22)$$

Em que IA_{it} é a inovação ambiental, θ_i são os coeficientes de cada variável e u_{it} é o termo de erro. As variáveis com valores contínuos estão em logaritmo na equação e a variável $\ln \hat{G}_{it}$ é o valor dos gastos com atividades inovativas previsto da etapa anterior.

Das variáveis explicativas que entraram na primeira etapa, permanecem nessa segunda etapa as características relacionadas ao conhecimento e aprendizado como o arranjo cooperativo e o apoio do governo para inovar. A hipótese é de que essas variáveis não só impactam a intensidade do investimento em atividades inovativas como também estão relacionadas com todo o desenvolvimento do processo inovativo até chegar à inovação propriamente dita, além da variável de tamanho da firma, das *dummies* de controle regionais e de intensidade tecnológica. Ademais, inseriu-se nessa etapa a variável regulação ambiental, uma vez que as regulações ambientais propiciam o surgimento de inovações que demandam novas tecnologias que reduzem custos como o tratamento de resíduos sólidos, efluentes líquidos ou emissões gasosas.

4.2.2.1 Inovação ambiental *versus* inovação convencional: análise de heterogeneidade

Além de analisar os determinantes da inovação ambiental, buscou-se analisar possíveis heterogeneidades entre os determinantes em relação à decisão da firma de realizar inovações convencionais e inovações ambientais. O principal objetivo dessa análise é verificar a existência de possíveis especificidades em relação aos determinantes dos dois tipos de inovação, uma vez

²¹ Para a estimação da equação de inovação ambiental utilizou-se o modelo *probit*. Para mais detalhes sobre o modelo ver Cameron e Trivedi (2009).

que alguns fatores que levam a adoção de inovação ambiental podem ser diferentes dos fatores relacionados à inovação convencional.

Para tanto, a análise foi feita por meio do *probit* bivariado. Este método de estimativa remove o viés de seleção da amostra e também apresenta os parâmetros mais precisos através da inclusão de empresas não inovadoras (CHUN e MUN, 2012). Por exemplo, Heckman sugeriu o procedimento Heckit para variáveis dependentes contínuas. No entanto, neste caso as variáveis dependentes são discretas e a utilização da razão inversa Mills não é uma escolha apropriada.

Desse modo, entende-se que as decisões entre inovar e inovar com redução de impacto ambiental fazem parte de um mesmo processo decisório da firma, mas podem apresentar determinantes distintos. Diante disso, verificam-se os fatores que se associam à probabilidade de escolha pela inovação ambiental, considerando a possível simultaneidade das decisões entre inovar e inovar com redução de impacto ambiental. Portanto, têm-se duas variáveis dependentes dicotômicas, e considera-se a possibilidade de existência de um fator endógeno que relaciona essas variáveis, de maneira que a escolha por uma determinada decisão afeta, diretamente, a probabilidade da firma decidir-se pela outra opção (CAMERON e TRIVEDI, 2005).

Nesse sentido, o método do *logit* ou *probit* multinomial poderia ser empregado para avaliar as decisões de alocação entre “inovar” e “inovar com redução de impacto ambiental” considerando várias possibilidades – como as quatro combinações possíveis de como a firma aloca o seu investimento entre inovar e inovar com redução de impacto ambiental. Contudo, caso essas opções constituam e sejam resultado de uma única tomada de decisão, assim como destacam Machado e Oliveira (2014), então a suposição presente na abordagem do *logit* multinomial é inadequada. Trata-se da suposição de independência entre as alternativas irrelevantes, que significa fazer suposições de independência dos erros entre a decisão de “inovar” e “inovar com redução de impacto ambiental” (CAMERON e TRIVEDI, 2005). Desse modo, a melhor estratégia empírica seria utilizar o *probit* bivariado, que apresenta a característica de não impor qualquer formato específico para a tomada de decisão, mas de supor que as duas opções se relacionam entre si de alguma maneira.

O *probit* bivariado pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y_{1it}^* = X_{it}\beta_i + \alpha_i + \mu_{1it}$$

$$Y_{1it} = 1 \text{ se } Y_{1it}^* > 0; Y_{1it} = 0 \text{ caso contrário} \quad (23)$$

$$Y_{2it}^* = X_{it}\beta_i + \alpha_i + \mu_{2it}$$

$$Y_{2it} = 1 \text{ se } Y_{2it}^* > 0; Y_{2it} = 0 \text{ caso contrário} \quad (24)$$

Em que a primeira variável binária (Y_{1i}) indica se a firma adotou inovação ambiental ou não, enquanto a segunda variável binária (Y_{2i}) informa se a firma adotou inovação convencional ou não. Y_{1it}^* e Y_{2it}^* são variáveis latentes que determinam os dois resultados, de modo que as variáveis binárias resultantes dessas decisões (Y_{1it}^* e Y_{2it}^*), assume valor igual a 1 caso a firma adote inovação ambiental ($Y = 1$ se $Y_{1it}^* > 0$), e valor 0 caso contrário; e, assume valor igual a 1 caso a firma adote inovação convencional ($Y = 1$ se $Y_{2it}^* > 0$), e valor 0 caso contrário. X_i representa o vetor contendo as variáveis explicativas referentes aos determinantes das firmas que afetam ambas as decisões. μ_{1it} e μ_{2it} são os termos de erro, α_i é a heterogeneidade setorial não-observada, $i = 1, 2, \dots, N$ – unidades de firmas e $t = 1, 2, \dots, T$ – período de tempo (anos). A escolha simultânea dessas duas opções implica em quatro resultados diferentes e excludentes entre si:

(i) Não inova com redução de impacto ambiental e não inova de forma convencional: [$Y_{1i} = 0$ e $Y_{2i} = 0$] (25)

(ii) Apenas inova com redução de impacto ambiental: [$Y_{1i} = 1$ e $Y_{2i} = 0$] (26)

(iii) Inova com redução de impacto ambiental e inova de forma convencional: [$Y_{1i} = 1$ e $Y_{2i} = 1$] (27)

(iv) Apenas inova de forma convencional: [$Y_{1i} = 0$ e $Y_{2i} = 1$] (28)

As suposições sobre os erros aleatórios são:

$$E(\mu_1) = E(\mu_2) = 0 \quad (29)$$

Cameron e Trivedi (2005) apontam que se as duas decisões são correlacionadas, os erros dos dois modelos não são independentes entre si ($\rho = Cov(\mu_1, \mu_2) \neq 0$) e a probabilidade de uma opção depende da probabilidade da outra, sendo determinadas conjuntamente, ou seja, a tomada de decisão de inovar com redução de impacto ambiental é afetada pela decisão de inovar de forma convencional, e vice-versa. Portanto, uma vez que a correlação é não nula, as variáveis inovação ambiental e inovação convencional estarão correlacionadas, de modo que a análise se torna valiosa para entender as possíveis especificidades dos determinantes sobre cada uma das inovações. Caso $\rho = 0$, as escolhas de inovar de forma convencional e inovar com redução de impacto ambiental não se correlacionam entre si e os *probits* não precisam ser estimados conjuntamente. Além dos coeficientes β_1 e β_2 , o *probit* bivariado fornece, também, a estimativa da probabilidade prevista das quatro combinações possíveis descritas. Ademais, os erros seguem distribuição normal bivariada.

4.2.3 Equação de Produtividade

No terceiro e último estágio do modelo, a função de produção para calcular produtividade é modelada por meio de uma função do tipo Cobb-Douglas com retornos constantes de escala e a variável inovação ambiental como *input*:

$$PT_{it} = \widehat{IA}_{it}\delta + X_{4it}\beta_4 + \alpha_i + v_{it} \quad (30)$$

Em que PT_{it} é produtividade do trabalho, \widehat{IA}_{it} é a variável de inovação ambiental prevista da equação (22) e δ seu parâmetro, X_{4it} é o vetor de outras variáveis explicativas e β_4 seus respectivos coeficientes, v_{it} é o termo de erro, α_i é a heterogeneidade setorial não-observada, $i = 1, 2, \dots, N$ – unidades de firmas e $t = 1, 2, \dots, T$ – período de tempo (anos). Nesse contexto, considerando novamente o problema da endogeneidade, o terceiro estágio também utiliza um valor previsto, que nesse caso é a probabilidade estimada da inovação ambiental (\widehat{IA}_{it}) gerada pela equação (22).

O modelo apresentado é estimado por efeitos fixos ou aleatórios. Wooldridge (2002) aponta que o principal determinante para decidir entre o modelo de efeitos fixos e o modelo de efeitos aleatórios é o efeito não observado α_i . Em situações em que α_i é correlacionado com as variáveis explicativas, o modelo de efeitos fixos é o mais indicado. Caso contrário, se α_i não é correlacionado com as variáveis explicativas, o modelo de efeitos aleatórios deve ser utilizado.

O modelo de efeitos fixos busca controlar os efeitos das variáveis omitidas que variam entre indivíduos e permanecem constantes ao longo do tempo. Para isto, supõe que o intercepto varia de um indivíduo para o outro, respeitando a heterogeneidade entre indivíduos, mas é constante ao longo do tempo. Cameron e Trivedi (2009) mostram que os estimadores de β_4 de um modelo de efeitos fixos para a equação (30) eliminam os efeitos fixos α_i , isto é, é elaborada uma transformação *within* pela diferenciação de médias. Dessa forma, uma estimação *within* elabora uma modelagem com os dados diferenciados em torno da média, e não se pode estimar um coeficiente de um regressor sem variação ao longo do tempo, de modo que os efeitos fixos α_i na equação (30) podem ser eliminados pela subtração das médias de cada indivíduo, resultando o modelo *within*. Pelo fato de α_i ter sido eliminado, o estimador de MQO oferece estimativas consistentes de β_4 , mesmo se α_i , for correlacionado com X_{4it} como é o caso do modelo de efeitos fixos.

O modelo de efeitos aleatórios possui as mesmas suposições do modelo de efeitos fixos, isto é, o intercepto varia de um indivíduo para o outro, mas não ao longo do tempo. A diferença entre os dois modelos refere-se ao tratamento do intercepto, de modo que o modelo de efeitos aleatórios trata os interceptos como variáveis aleatórias, considerando que os indivíduos sobre os quais dispõe-se de dados são amostras aleatórias de uma população maior de indivíduos. No modelo de efeitos aleatórios, assume-se que α_i é puramente aleatório, ou seja, não é correlacionado com os regressores.

Desse modo, para a escolher entre um modelo de dados em painel com efeitos fixos ou efeitos aleatórios e, portanto, verificar se existe correlação entre α_i e as variáveis explicativas, Greene (2003) sugere o teste de Hausman e formula as hipóteses nula e alternativas para o teste: H_0 : α_i não é correlacionado com as variáveis explicativas e H_1 : α_i é correlacionado com as variáveis explicativas. Caso a hipótese nula seja aceita, não há evidências que α_i seja correlacionado com as variáveis explicativas, de modo que o modelo de efeitos aleatórios deve ser utilizado. Por outro lado, se a hipótese alternativa for aceita, deve-se utilizar o modelo de efeitos fixos.

O modelo empírico por ser apresentado da seguinte forma:

$$\ln PT_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 \widehat{IA}_{it} + \varphi_2 REG_{it} + \varphi_3 \ln Mkt_{it} + \varphi_4 \ln K_{it} + \varphi_5 \ln MP_{it} + \varphi_6 Capcontr_{it} + \varphi_7 Exp_{it} + \varphi_8 Intec_{it} + \varphi_9 Região_{it} + v_{it} \quad (31)$$

Em que PT_{it} é a produtividade do trabalhador, \widehat{IA}_{it} é o valor previsto da etapa anterior, φ_i são os parâmetros e v_{it} é o termo de erro. As demais variáveis estão representadas no Quadro 1, no qual os valores contínuos estão em logaritmo na equação.

Dentre as variáveis explicativas estão os insumos usuais da função de produção: valor do capital por trabalhador e o consumo de matérias primas por trabalhador, todos em logaritmo. Outras características do ambiente concorrencial e da inserção internacional também são representadas: regulação, *market share*, capital controlador e exportação. A variável regulação ambiental entra nessa etapa afim de verificar se a imposição de regulações ambientais bem formuladas possam induzir à adoção de inovações capazes de aumentar a produtividade das empresas. Há também a variável de intensidade tecnológica para medir se os setores mais intensivos em tecnologias são mais produtivos do que os menos intensivos. Por fim, há as *dummies* de controle regionais.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo analisar as relações entre meio ambiente, inovações e desempenho econômico das firmas da indústria de transformação brasileira por meio de evidências econométricas. A apresentação e a discussão dos resultados do trabalho estão divididas em duas seções. Na primeira seção é feita a análise das estatísticas descritivas das variáveis utilizadas. As estatísticas descritivas são úteis para a sistematização do processo inovativo brasileiro a nível da firma. Na segunda seção são apresentadas as estimações do modelo CDM proposto, de forma a responder aos objetivos da pesquisa.

5.1 Descrição Analítica das Variáveis dos Modelos

As estatísticas descritivas abrangem as variáveis utilizadas no modelo CDM e estão divididas entre variáveis binárias e contínuas. As variáveis binárias são referentes aos triênios 1998-2000, 2001-2003, 2003-2005, 2006-2008 e 2009-2011, enquanto as variáveis contínuas são referentes ao ano de 2000, 2003, 2005, 2008 e 2011. Optou-se por selecionar a amostra total e a amostra de empresas inovadoras com relação ao grau de intensidade tecnológica em quatro níveis, conforme destacado no Quadro 1, no período entre 2000 e 2011 (PINTEC, 2015). Constata-se ainda em relação à amostra que as empresas atendem aos requisitos tais como: estão classificadas no Cadastro Central de Empresas (CEMPRE) do IBGE como industrial ativas e que possuem dez ou mais pessoas ocupadas em 31 de dezembro do ano de referência do cadastro básico de seleção de pesquisa (PINTEC, 2015).

Desse modo, a Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis binárias. O número de observações analisadas para a amostra total é de 83993 firmas da indústria de transformação. Já o número de observações da amostra de empresas inovadoras é de 43607 firmas, das quais 19247 pertencem a setores com intensidade tecnológica baixa, 9567 pertencem a setores com intensidade tecnológica média-baixa, 9836 pertencem a setores com intensidade tecnológica média-alta e 4957 pertencem a setores com intensidade tecnológica alta.

Tabela 1 – Estatísticas Descritivas: Variáveis binárias no período de 2000 a 2011

Variáveis Binárias	Amostra Amostra por Intensidade Tecnológica				
	Total (%)	Baixa (%)	Média-Baixa (%)	Média-Alta (%)	Alta (%)
Inovação Ambiental ampla	23,73	44,13	21,90	22,56	11,41
Inovação Ambiental restrita	15,04	48,99	23,64	18,83	8,54
Atividades Inovativas	32,89	30,53	32,12	37,68	44,76
Regulação Ambiental	19,85	23,34	30,32	34,33	36,98
Universidades	10,67	40,78	23,30	25,20	10,72
Controle e gerenciamento	8,82	48,80	25,03	22,74	3,42
Competitividade Internacional	7,15	5,50	5,83	4,25	4,94
Capital Controlador	10,41	5,98	8,85	22,47	23,51
Exportação	36,33	30,99	23,80	31,22	39,73
Arranjo Cooperativo	12,07	45,30	27,50	22,31	4,89
Qualidade da mão de obra	19,38	14,67	15,55	53,20	16,26
Apoio do Governo	4,99	53,48	25,04	18,42	3,05
Informação com a Cadeia Produtiva	24,05	21,37	22,35	31,33	32,45
Região Norte	3,73	3,63	4,18	3,92	3,89
Região Nordeste	9,40	9,46	10,07	9,15	9,53
Região Sudeste	56,85	57,26	55,52	57,15	52,33
Região Sul	26,65	25,91	26,39	26,33	30,00
Região Centro-Oeste	3,37	3,74	3,84	3,46	4,26
Observações	83993	19247	9567	9836	4957

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

A Tabela 2 apresenta as variáveis contínuas, de forma que as mesmas estão representadas pelos seus valores médios.

Tabela 2 – Estatística Descritiva: variáveis contínuas – Médias no período de 2000 a 2011

Variáveis Contínuas	Amostra Amostra por Intensidade Tecnológica				
	Total	Baixa	Média-Baixa	Média-Alta	Alta
Gasto com Atividades Inovativas*	1428,8	4644,5	8060,0	11248,4	16841,9
Pessoal Ocupado	330,69	477,86	500,95	351,90	322,89
Market share (%)	0,04	0,04	0,32	0,31	0,06
Capital por Trabalhador (em log)	10,03	14,97	15,04	15,74	15,88
Consumo de matérias primas por trabalhador (em log)	10,55	10,31	10,47	10,98	11,07
Produtividade do Trabalho (em log)	10,50	10,20	10,58	10,89	11,06
Observações	83993	19247	9567	9836	4957

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *Em milhões de Reais.

Pela Tabela 1 e 2, analisando a amostra de empresas inovadoras por intensidade tecnológica, verifica-se que o nível de intensidade tecnológica baixa é o que mais contribui para a média geral das variáveis inovações ambientais ampla e restrita, uma vez que esses setores são formados por um número maior de firmas. Isso pode ser verificado pela variável pessoal ocupado, utilizada como *proxy* para tamanho da firma. Um aspecto importante é as firmas menos intensivas apresentam uma média mais alta do que as firmas mais intensivas em tecnologia, evidenciando o maior peso da variável de tamanho para as firmas com intensidade tecnológica mais baixa, mostrando que um tamanho maior é mais condizente com o perfil das firmas inovadoras.

Os setores de baixa e média-baixa apresentaram ainda algumas particularidades em relação a algumas variáveis apresentadas. A variável de competitividade internacional, no qual 5,50% das firmas de intensidade tecnológica baixa e 5,83% das firmas com intensidade tecnológica média-baixa possuem o exterior como seu principal mercado, enquanto esse valor cai levemente para 4,25% para as empresas de intensidade média-alta e 4,94% para as empresas de intensidade alta. Por outro lado, apenas 30,99% das firmas de menor intensidade exportaram no período, contra 39,73% das firmas de maior intensidade. Esses dados revelam que em termos absolutos poucas empresas brasileiras apresentam competitividade internacional, porém, proporcionalmente, as firmas menos intensivas são um pouco mais competitivas do que as firmas mais intensivas, apesar destas exportarem mais. Em geral, observa-se que os produtos da indústria de transformação estão mais voltados para o mercado doméstico. Apesar dos setores mais intensivos em tecnologia inovarem mais, eles são menos competitivos do que os setores menos intensivos, demonstrando que os produtos nacionais mais intensivos em tecnologia não conseguem competir com os seus concorrentes estrangeiros.

Cabe destacar que as empresas de baixa tecnologia tendem a terem maior apoio do governo e das universidades, de modo que foram esses os setores que mais receberam apoio do governo: intensidade tecnológica baixa (53,48%) e média-baixa (25,04%) e das universidades: (40,78%) para o setor de intensidade baixa e (23,30%) para o setor de intensidade média-baixa. Uma vez que esses setores são os que menos gastam com atividades inovativas, uma justificativa pode ser a falta de recursos ou capacidade próprios para realizar algum tipo de inovação, recebendo mais incentivos do governo do que as firmas mais intensivas.

Analisando as firmas dos setores de intensidade tecnológica média-alta e alta, 44,76% das firmas mais intensivas em tecnologia investiram em algum tipo de atividade inovativa e 37,68% com intensidade tecnológica média-alta investiram em atividades inovativas. Dado que esses setores realizam mais atividades inovativas, são eles também que gastam mais com

atividades inovativas, confirmando-se que essa intensidade é maior para os setores de média-alta (4,27%) e alta (3,43%) intensidade tecnológica do que para as empresas dos setores de média-baixa (3,06%) e baixa intensidade (2,74%).

Desse modo, uma vez que a maior parte das firmas dos setores de intensidade tecnológica alta e média-alta são multinacionais, elas estão sujeitas às regras impostas pela sua matriz que exige o cumprimento mais rigoroso dos regulamentos, de modo que esses setores apresentaram maiores valores para as variáveis capital estrangeiro (22,47% para os setores com intensidade média-alta e 23,51% para os setores com intensidade alta), exportação (31,22% para os setores com intensidade média-alta e 39,73% para os setores com intensidade alta) e qualidade da mão de obra (53,20% para os setores com intensidade média-alta e 16,26% para os setores com intensidade alta) em relação às firmas pertencentes ao grau tecnológico baixa e médio-baixo.

Para as variáveis *market share*, capital por trabalhador e consumo de matérias primas, percebe-se que as firmas mais intensivas em tecnologia apresentam maiores médias do que as firmas menos intensivas em tecnologia. Ademais, verifica-se que a produtividade do trabalho dos setores de intensidade média-alta (10,89%) e alta (11,06%) é maior do que a produtividade do trabalho nos setores industriais de média-baixa (10,58%) e baixa intensidade tecnológica (10,20%), o que comprova a força desses setores mais voltados para a tecnologia. Conforme pode-se observar, a produtividade cresce à medida que se passa dos setores de baixa para os setores de alta intensidade tecnológica.

Em particular, no que se refere à análise da variável inovação ambiental, a Tabela 3 apresenta as principais características das firmas que realizaram esses tipos de inovações. Como já mencionado, o percentual de firmas inovadoras da indústria de transformação que realizou inovação com redução do impacto ambiental amplo foi de aproximadamente 24% e 15% das firmas inovadoras realizaram inovação com redução de impacto ambiental restrito.

Tabela 3 – Características das empresas que realizaram Inovação Ambiental (IA) ampla e restrita no período de 2000 a 2011

Variáveis	Firmas que realizaram IA ampla (%)		Firmas que realizaram IA restrita (%)	
	Sim	Não	Sim	Não
Atividades Inovativas				
Realizou	99,25	99,11	99,45	43,00
Não realizou	0,75	0,89	0,55	57,00
Regulação Ambiental				
Realizou	53,45	25,39	58,63	12,98
Não realizou	46,55	74,61	41,37	87,02
Controle				
Realizou	13,95	9,78	60,46	25,39
Não realizou	86,05	90,22	39,54	74,61
Competitividade internacional				
Estrangeiro	8,82	6,61	9,73	6,63
Nacional	91,18	93,39	90,27	93,37
Capital controlador				
Nacional	80,42	84,78	77,60	88,70
Estrangeiro ou misto	19,58	15,22	22,40	11,30
Exportação				
Realizou	6,60	8,81	7,60	9,81
Não realizou	93,40	91,19	92,40	90,19
Arranjo cooperativo				
Realizou	27,26	17,98	31,95	13,89
Não realizou	72,64	82,02	68,05	86,11
Universidades				
Realizou	56,44	45,36	56,54	45,30
Não realizou	43,46	54,64	43,46	54,70
Qualidade da mão de obra				
Com nível superior	40,21	32,12	45,66	14,73
Sem nível superior	59,79	67,88	54,34	85,27
Apoio do governo				
Sim	11,84	7,28	15,60	8,50
Não	88,16	92,72	84,40	91,50
Intensidade tecnológica				
Baixa	42,82	45,25	42,53	50,13
Média-baixa	22,74	21,26	21,95	23,94
Média-alta	23,73	21,57	23,96	17,92
Alta	10,71	11,92	11,56	8,01
Região				
Norte	3,98	3,14	4,21	3,65
Nordeste	8,52	8,77	8,59	9,54
Sudeste	56,14	57,46	56,41	56,92
Sul	28,25	27,68	28,18	26,38
Centro-Oeste	3,11	2,94	2,61	3,51
Observações	19935	23672	12640	33342

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Em relação às atividades inovativas na Tabela 3, percebe-se que quase que a totalidade (99,25%) de empresas que declararam ter realizado inovação ambiental ampla também realizaram algum tipo de atividade inovativa. Verifica-se ainda que a maior parte das empresas que declararam não terem realizado IA, realizaram algum tipo de atividade inovativa. Desse modo, é possível observar que as inovações ambientais realizadas pelas firmas podem ocorrer indiretamente como resultado de investimentos em algum tipo de inovação convencional. Em relação à inovação ambiental restrita, 99,45% das firmas que declararam ter realizado atividades inovativas.

Sobre a variável regulação ambiental, é possível observar que do total de firmas que realizaram inovação ambiental ampla, 53,45% se enquadram em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo e das que realizaram inovação ambiental restrita, 58,63% se enquadram em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que muitas firmas são reguladas ambientalmente em decorrência do setor de atuação e do porte, além de abranger o mercado externo, que já é significativamente regulado na esfera ambiental, o que pode induzi-las a melhorar a qualidade ambiental de seus produtos e processos.

Quanto à variável controle, nota-se que do total de empresas que realizaram inovação ambiental ampla, 13,95% realizou algum tipo de controle e gerenciamento e 60,46% das firmas que realizaram inovação ambiental restrita realizou algum tipo de controle, seja formal (marcas) ou informal (segredo industrial, complexidade do desenho do produto) visando atender normas de certificação.

Em relação à competitividade internacional, percebe-se que do total das empresas que realizaram inovação ambiental ampla e restrita, o principal mercado da firma é nacional. Quanto à origem do capital controlador, a maior parte das firmas que realizaram inovação ambiental ampla e restrita possuem capital nacional. Assim, verifica-se que a amostra está concentrada em empresas nacionais. Considerando a variável exportação, observa-se, de forma geral, que os produtos das empresas inovadoras estão voltados para o mercado doméstico.

Quanto à relação entre a inovação ambiental ampla e restrita e a cooperação para inovação representada pelo arranjo cooperativo, verifica-se que dentre as empresas que realizaram inovação ambiental ampla e restrita, aproximadamente 27% e 32%, respectivamente, declararam ter realizado atividades de cooperação. Diante disso, percebe-se que a estratégia de cooperação entre agentes, por mais importante que seja para o processo inovativo, está sendo inserido aos poucos na prática da maioria das empresas. Esse resultado levanta a hipótese que as firmas podem não buscar estabelecer cooperação pelo fato dessa ação

ser vista como algo bastante complexo, pois envolve conflitos de interesse, capacidade de governança, risco, definição de modalidades de apropriação de conhecimento, etc. (MACULAN, 2010).

Em relação à relação entre inovação ampla e restrita e às universidades, verificou-se que do total de empresas que realizaram inovação ambiental ampla e restrita, aproximadamente 56% e 57%, declararam ter algum vínculo com universidade, incubadora ou parque tecnológico. Como as empresas não inovam de forma isolada e nem todas possuem todos os recursos e capacidade suficientes para inovar, elas buscam estreitar relacionamentos com as universidades e institutos de pesquisas e centro tecnológicos. De acordo com Freeman e Reed (1983), essas instituições têm importância pelo potencial de cooperação e interações que proporcionam à empresa realizar objetivos e criar vantagem competitiva.

Um dado interessante diz respeito à variável qualidade de mão de obra. Observa-se que do total de empresas que realizaram inovação ambiental ampla, 40,21% da mão de obra empregada possui nível de qualificação superior exercendo as atividades internas de P&D, fato que pode ser favorável ao desenvolvimento ou aperfeiçoamento desse tipo de inovação ao se considerar uma melhor qualificação dos empregados das firmas envolvidos nessas atividades. A análise pode ser feita de modo similar para a inovação ambiental restrita.

Considerando o apoio do governo, verifica-se que do total de firmas que adotaram inovações ambientais ampla e restrita, utilizou algum programa de apoio do governo para as atividades inovativas. Desse modo, constata-se que grande parte do investimento em inovações ambientais são financiadas por recursos próprios das empresas. Esse resultado evidencia que as empresas que realizam tanto inovação ambiental ampla quanto restrita utilizam, em média, um maior percentual de fontes de financiamento públicas, ainda que baixo, que pode ser justificado pelo fato desse tipo de inovação ser mais cara, pois, muitas vezes, depende de tecnologias de ponta e, por isso, as firmas recorrem mais às fontes governamentais; e, ainda há a possibilidade do governo ceder mais subsídios para projetos ambientalmente sustentáveis.

Em relação à intensidade tecnológica, percebe-se que do total de empresas que realizaram inovação ambiental ampla, aproximadamente 34% das empresas estão nos setores com média-alta e alta intensidade tecnológica. Entretanto, esses setores são formados por um número muito menor de empresas e são os que mais contribuíram para a média de investimento ambiental do que as empresas que formam os setores de baixa e média-baixa intensidade tecnológica, composta por um número maior de empresas. A análise pode ser feita de modo semelhante para a inovação ambiental restrita. Com base nessas análises é possível ajudar os

formuladores de políticas de inovação a definir seu público-alvo e os impactos esperados de intervenções dirigidas a grupos específicos.

Por fim, quanto à localização geográfica das empresas inovadoras, verifica-se que do total de empresas que realizaram inovação ambiental tanto ampla quanto restrita, a maior parte das empresas da indústria de transformação no âmbito da PINTEC estão concentradas nas regiões Sudeste e Sul independentemente do tipo de inovação que as empresas realizaram.

Com relação ao perfil da amostra relativa à classificação de atividade econômica (CNAE 2.0), a Tabela 4 apresenta a proporção de firmas de cada setor que compõe a indústria de transformação da amostra total, da amostra das firmas inovadoras e da amostra das firmas que adotaram inovações ambientais (IAs).

Tabela 4 – Estatística Descritiva: Atividades Econômicas (CNAE 2.0)

Atividades Econômicas	Total (%)	Inovadoras (%)	IA ampla (%)	IA restrita (%)	Intensidade tecnológica
Fabricação de produtos alimentícios	12,37	35,35	11,44	14,30	Baixa
Fabricação de bebidas	0,91	33,60	16,15	16,70	Baixa
Fabricação de produtos do fumo	0,07	26,90	13,30	13,10	Baixa
Fabricação de produtos têxteis	3,90	32,36	10,85	11,83	Baixa
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	14,61	31,61	6,29	11,04	Baixa
Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro	4,98	32,45	12,04	11,42	Baixa
Fabricação de produtos de madeira	5,66	24,48	11,37	8,05	Baixa
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	2,01	33,83	12,49	14,89	Baixa
Fabricação de móveis	5,53	37,02	17,38	13,70	Baixa
Fabricação de produtos diversos	2,55	32,33	9,53	18,42	Baixa
Impressão e reprodução de gravações	3,79	36,46	11,38	11,68	Baixa
Total	56,37	32,83	44,13	48,99	
Fabricação de coque, produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	0,26	40,89	24,58	19,62	Média-Baixa
Fabricação de artigos de borracha e plástico	6,20	36,35	14,50	15,28	Média-Baixa
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	8,21	26,07	10,61	7,83	Média-Baixa
Metalurgia	1,71	38,81	18,23	14,67	Média-Baixa
Fabricação de produtos de metal	9,59	34,13	12,63	15,00	Média-Baixa
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	1,43	28,90	16,06	21,02	Média-Baixa
Total	27,40	32,30	21,90	23,64	
Fabricação de produtos químicos	3,35	51,49	25,92	21,94	Média-Alta
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	2,03	45,04	18,30	15,01	Média-Alta
Fabricação de máquinas e equipamentos	5,95	43,78	15,92	18,72	Média-Alta
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	2,53	37,27	17,27	17,70	Média-Alta
Fabricação de outros equipamentos de transporte	0,56	41,27	14,10	19,20	Média-Alta
Total	14,42	44,51	25,56	18,83	
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,60	53,13	13,67	17,33	Alta
Fabricação de equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos	1,21	65,95	11,40	15,11	Alta
Total	1,81	61,67	11,41	8,54	
Observações	83933	43607	19935	12640	

Fonte: Elaboração própria com dados da PINTEC 2000-2011.

Conforme a OCDE (2010), as atividades econômicas mais intensivas em tecnologia são aquelas marcadas por maiores taxas de inovação. Pela Tabela 4, percebe-se que as atividades econômicas de alta intensidade tecnológica respondem por 62% das empresas da indústria de transformação que declararam ter implementado algum tipo de inovação no período 2000-2011. Constata-se ainda que estes setores foram os que menos implementaram inovações que levam em conta o meio ambiente respondendo por 11,41%. Já os setores considerados de média-alta intensidade tecnológica representam 44,51% das empresas inovadoras e 25,26% do total das empresas implementaram inovações ambientais ampla no período. Verifica-se ainda que os setores de média-baixa intensidade tecnológica possuem uma taxa de inovação de 32,30% e as empresas do setor que adotaram algum tipo de inovação ambiental ampla respondem por 21,90%. Os setores considerados de baixa intensidade tecnológica apresentam uma taxa de inovação de 32,83% e 44,13% das empresas do setor adotaram inovação ambiental ampla.

Conforme a Tabela 4, é possível observar que as atividades econômicas mais representativas da amostra total são as de vestuário (14,61%), alimentos (12,37%), metal (9,59%), minerais não metálicos (8,21%), borracha e plástico (6,20%) e máquinas e equipamentos (5,95%). Porém, quando analisada a amostra das empresas inovadoras, constata-se que as maiores taxas de inovação estão concentradas nas atividades econômicas pertencentes aos setores representados pelos níveis de intensidade tecnológica média-alta e alta. Dentre esses setores, os que apresentaram uma maior taxa de inovação forma os de nível de intensidade tecnológica alta, com a produção de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos variando 65,95% e a produção de produtos farmoquímicos e farmacêuticos variando 53,13%. Ademais, quando se analisa a adoção de inovação ambiental, percebe-se que as atividades econômicas que mais adotaram esse tipo de inovação foram os de produtos químicos (25,92%) e coque e refino (24,58%). A análise pode ser verificada de modo semelhante para a inovação ambiental restrita.

5.2 Resultados das Estimações

As estimações seguem o modelo CDM em três estágios: o primeiro estágio analisa os determinantes do gasto em atividades inovativas; no segundo estágio se verifica o impacto destes gastos e de outros fatores sobre a inovação ambiental; e, no terceiro estágio, avalia-se o impacto da inovação ambiental sobre a produtividade. Como já discutido, a análise em três estágios visa compreender a dinâmica do processo inovativo e seu impacto na produtividade.

Os resultados serão apresentados considerando um modelo para a amostra total e um modelo para cada uma das quatro categorias de intensidade tecnológica, para o período de 2000 a 2011.

5.2.1 Estimações do esforço inovativo (Decisão de gastos em atividades inovativas)

As estimações da primeira etapa do modelo CDM proposto podem ser vistas na Tabela 5. Os modelos têm como variável dependente o logaritmo do gasto com atividades inovativas (G). A Tabela 5 está dividida em duas partes, de modo que a primeira compreende a equação de intensidade do gasto em atividades inovativas, enquanto a segunda parte é composta pela equação de seleção, isto é, variáveis que impactam na decisão da firma em investir nessas atividades.

Tabela 5 – Estimações: Esforço Inovativo – Modelo de Heckman					continua
Variável	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dependente: $\ln G$	Geral	Baixa	Média-baixa	Média-alta	Alta
Intensidade					
$\ln PO$	0,321*** (0,013)	0,263*** (0,021)	0,281*** (0,025)	0,391*** (0,028)	0,317*** (0,034)
$\ln Mkt$	0,199*** (0,008)	0,163*** (0,010)	0,201*** (0,026)	0,290*** (0,025)	0,217*** (0,025)
Compet	0,165** (0,037)	0,347*** (0,051)	-0,134 (0,093)	0,307*** (0,079)	-0,063 (0,130)
Capcontr	-0,240*** (0,022)	-0,259*** (0,041)	-0,216*** (0,049)	-0,136*** (0,042)	-0,249*** (0,055)
Ap_Gov	0,860*** (0,034)	0,753*** (0,061)	0,879*** (0,080)	0,906*** (0,063)	0,743*** (0,084)
Quali	4,084*** (0,036)	3,907*** (0,037)	4,184*** (0,050)	4,211*** (0,044)	4,175*** (0,061)
Coop	0,633*** (0,024)	0,728*** (0,039)	0,508*** (0,053)	0,492*** (0,048)	0,774*** (0,063)
Média-baixa	0,091*** (0,025)	-	-	-	-
Média-alta	0,507*** (0,035)	-	-	-	-
Alta	0,723*** (0,046)	-	-	-	-

					conclusão
Variável	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Dependente: Decisão em investir em atividades inovativas	Geral	Baixa	Média-baixa	Média-alta	Alta
Seleção					
lnPO	0,153*** (0,004)	0,173*** (0,005)	0,0736*** (0,0105)	0,144*** (0,011)	0,149*** (0,016)
lnMkt	0,069*** (0,003)	0,033*** (0,004)	0,133*** (0,008)	0,118*** (0,008)	0,108*** (0,011)
Controle	0,270*** (0,017)	0,340*** (0,028)	0,244*** (0,032)	0,165*** (0,034)	0,236*** (0,046)
UNFs	1,673*** (0,076)	1,830*** (0,142)	1,551*** (0,143)	1,521*** (0,140)	1,693*** (0,201)
Média-baixa	0,057*** (0,011)	-	-	-	-
Média-alta	0,395*** (0,013)	-	-	-	-
Alta	0,570*** (0,018)	-	-	-	-
ρ	0,092***	0,161***	0,113***	0,517***	0,369***
λ	0,182***	0,322***	0,223***	1,096***	0,737***
σ	1,978***	2,017***	1,973***	2,119***	1,995***
χ^2	42732***	14299***	8445***	11722***	3484***
Nº de Obs.	83993	41145	19859	15816	7173
Censuradas	40757	22062	10390	6066	2239
Não censuradas	43236	19083	9469	9750	4934

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, bem como as constantes.

Primeiramente, no que se refere à equação de seleção, pode-se verificar que todas as variáveis se mostraram estatisticamente significativas, com nível de significância de 1%. Dentre os resultados encontrados, fica evidente em todos os modelos que a probabilidade da firma decidir realizar algum investimento em atividade inovativas aumenta significativamente com o tamanho da firma (*PO*), medido pelo logaritmo do número de pessoal ocupado. Verifica-se que o tamanho da firma aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 15,3 pontos percentuais (p.p.). Analisando para os níveis tecnológicos, observa-se que o tamanho da firma aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 17,3 p.p. para o nível de intensidade tecnológica baixa, em 7,4 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-baixa, em 14,4 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-alta e em 14,9 p.p. para o nível de intensidade tecnológica alta. Lööf (2009) apontam que a propensão a engajar em atividades de inovação é uma função crescente do tamanho das empresas. Esses resultados correspondem

também com as evidências encontradas por Cohen e Klepper (1996), Crépon *et al.* (1998), Mairesse e Mohnen (2003) e Griffith *et al.* (2006).

A variável *market share* (*lnMkt*) também apresentou uma relação positiva com a decisão de investir em atividades inovativas em todos os modelos apresentados, ou seja, o *market share* aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 6,9 p.p., evidenciando que as firmas com estruturas de mercado maiores investem mais nessas atividades do que firmas menos representativas. Esse resultado coincide com o encontrado por Crépon *et al.* (1998) para as empresas francesas. O resultado também pode ser percebido para os níveis tecnológicos, de modo que o *market share* da firma aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 3,3 p.p. para o nível de intensidade tecnológica baixa, em 13,3 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-baixa, em 11,8 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-alta e em 10,8 p.p. para o nível de intensidade tecnológica alta. Cabe ressaltar que a constatação de que o *market share* está associado a uma maior probabilidade de realização de investimento em atividades inovativas é mais recente, mas muito aceitável, concordando com as hipóteses schumpeterianas²² (CRÉPON *et al.*, 1998). Desse modo, de forma geral, verifica-se que as questões de estrutura de mercado envolvendo o tamanho da firma e a concentração são importantes determinantes para a decisão de investir em inovação, de modo que as firmas maiores e de maior participação no mercado provavelmente se defrontam com uma situação mais propícia ao investimento em inovação com a possibilidade de explorar novas possibilidades técnicas com uma base mais ampla de produtos e vantagens de escala.

É possível verificar em todos os modelos, que a utilização de métodos de controle e gerenciamento (*Controle*) aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 6,9 p.p., evidenciando a importância da apropriabilidade da inovação para o processo inovativo. Esse resultado também foi encontrado por Griffith *et al.* (2006), Mairesse e Robin (2012) e Crespi e Zuñiga (2010). Para os níveis tecnológicos, observa-se que os métodos de controle e gerenciamento aumentam a probabilidade de investir em atividade inovativas em 34 p.p. para o nível de intensidade tecnológica baixa, em 24,4 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-baixa, em 16,5 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-alta e em 23,6 p.p. para o nível de intensidade tecnológica alta.

²² Na literatura econômica da inovação, normalmente a estrutura de mercado está associada com as hipóteses schumpeterianas de que economias de escala e escopo conduzem a atividades de P&D mais eficientemente, de modo que as grandes empresas possuem competências superiores quando comparadas com firmas menores. Scherer (1986) sintetiza que a maioria dos estudos empíricos que buscaram relações entre estrutura de mercado e inovação partiu de duas observações interpretativas com base em Schumpeter (1984): a inovação cresce mais que proporcionalmente com o tamanho da empresa; e, a inovação cresce com a concentração do mercado.

Verifica-se ainda que fazer parceria com universidades, incubadoras ou parque tecnológico (*UNFs*) impacta positivamente na decisão do esforço inovativo, se mostrando estatisticamente significativo em todos os modelos apresentados, ou seja, a parceria com universidades, incubadoras ou parque tecnológico aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 167,3 p.p. Esse resultado também pode ser percebido para os níveis tecnológicos, de modo que parceria com universidades, incubadoras ou parque tecnológico aumenta a probabilidade de investir em atividade inovativas em 183 p.p. para o nível de intensidade tecnológica baixa, em 155,1 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-baixa, em 152,1 p.p. para o nível de intensidade tecnológica média-alta e em 169,3 p.p. para o nível de intensidade tecnológica alta. Esse resultado evidencia que dada a dificuldade que firmas encontram em inovar isoladamente, a parceria com universidades, incubadoras ou parque tecnológico é benéfica para a realização de atividades inovativas.

Por fim, dentro da equação de seleção, é possível perceber que as variáveis *dummies* para os setores sugerem que ter um nível de intensidade tecnológica média-baixa aumenta em 5,7 p.p. a probabilidade de investir em atividades inovativas, ter um nível de intensidade tecnológica média-alta aumenta em 39,5 p.p. a probabilidade de investir em atividades inovativas e ter um nível de intensidade tecnológica alta aumenta em 57 p.p. a probabilidade de investir em atividades inovativas em relação ao nível de intensidade baixa.

No que se refere à equação de resultado ou de intensidade de gastos com atividades inovativas, a maior parte das variáveis se mostrou estatisticamente significativa e com coeficientes associados positivos, com a exceção para os valores da variável origem do capital controlador (*Capcontr*). As variáveis tamanho da firma e *market share* incluídas também na equação de resultado apresentaram sinais positivos e se mostraram estatisticamente significativas, uma vez que um aumento de 1% no tamanho da firma provoca um aumento de 32,1% nos gastos com inovação e um aumento de 1% no *Market share* aumenta em 19,9% os gastos da firma com atividades inovativas. Portanto, o que se verificou é que se essas variáveis afetam a decisão de investir em atividades inovativas pela firma, elas também apresentam uma relação significativa em relação aos gastos com atividade inovativas.

A variável de competitividade internacional (*Compet*) se mostrou estatisticamente significativa, apresentando um aumento de 16,5% dos gastos com atividades inovativas para a amostra total, 34,7% para a amostra de intensidade tecnológica baixa e 30,7% para a amostra de intensidade tecnológica média-alta. Desse modo, a intensidade do gasto inovativo das firmas com nível de intensidade tecnológica média-baixa e as firmas mais intensivas em tecnologia parece não ser impactado pelo fato do mercado principal da firma ser estrangeiro. Por outro

lado, o fato da origem do capital controlador da empresa ser nacional (*Capcontr*) reduz em 24% na intensidade do esforço inovativo da amostra total, 25,9% da amostra para as firmas menos intensivas em tecnologia e 24,9% para as firmas mais intensivas em tecnologia, corroborando com os resultados apresentados por Crespi e Zuñiga (2010). Esse resultado pode ser justificado pelo fato de que firmas de capital estrangeiro, por serem multinacionais, devem seguir as regras impostas pela matriz de modo que elas tendem a ter maiores gastos para investir em atividades inovativas.

As variáveis de apoio do governo (*Gov*), qualidade de mão de obra (*Quali*) e arranjo cooperativo (*Coop*) apresentaram resultados esperados, com coeficientes positivos e significativos no impacto da intensidade do gasto em atividades inovativas. Verifica-se que ter o apoio do governo aumenta em 86% os gastos com atividades inovativas das firmas na amostra total, aproximadamente 75% para as firmas com intensidade tecnológica baixa, 88% para as firmas com intensidade tecnológica média-baixa, 91% para as firmas com intensidade tecnológica média-alta e 74% para as firmas com intensidade tecnológica alta. Portanto, os incentivos governamentais representam um importante fator na intensidade de gastos com inovação pelas firmas. A variável cooperação também apresentou resultados esperados, de modo que uma maior cooperação das firmas aumenta em 63,3% os gastos com atividades inovativas na amostra total, 72,8% para as firmas com nível de intensidade tecnológica baixa, 50,8% para as firmas com nível de intensidade tecnológica média-baixa, 49,2% para as firmas com nível de intensidade tecnológica média-alta e 77,4% para as firmas com nível de intensidade tecnológica alta. Desse modo, os gastos com inovação pelas firmas são também positivamente influenciados pelos resultados da cooperação entre as empresas e organizações de pesquisa com os agentes econômicos e institucionais.

A variável de qualidade de mão de obra é um elemento muito importante na explicação da decisão da firma em investir em atividades inovativas. Quanto maior o percentual de pessoal com nível superior na firma, maiores são as chances dela inovar no futuro. Verifica-se que esses impactos são muito próximos para os quatro níveis de intensidade tecnológica, o que demonstra uma preocupação das firmas de todos os setores em empregar uma mão de obra qualificada. A questão do arranjo cooperativo coincide com os resultados apresentados por Griffith *et al.* (2006) e o resultado da variável apoio do governo também pode ser verificado nos trabalhos de Griffith *et al.* (2006) e Crespi e Zuñiga (2010).

Portanto, por meio desses resultados, verifica-se a importância dos critérios de capacitação (qualidade de mão de obra), conhecimento e aprendizagem (arranjo cooperativo) e das políticas públicas para inovação (apoio do governo). Essas evidências estão de acordo com

as questões dos múltiplos determinantes e da necessidade de um ambiente voltado para a tecnologia destacado pela teoria evolucionária.

As variáveis *dummies* setoriais apresentaram impacto positivo e significativo em relação ao investimento em atividades inovativas na amostra total. Verifica-se, pelos resultados, que ter um nível de intensidade tecnológico média-baixa aumenta em 9,1% os gastos com atividades inovativas, aumenta em 50,7% os gastos com inovação as firmas com nível de intensidade tecnológica média-alta e 72,3% os gastos com atividade inovativas para as firmas mais intensivas em tecnologia. Esse resultado mostra que o gasto em atividades inovativas é mais influenciado pelo tipo de atividade econômica da empresa no que se refere ao seu padrão tecnológico, de modo que os gastos em atividades inovativas serão maiores quanto mais intensivo em tecnologia for o setor. Dessa maneira, a questão setorial com base na intensidade tecnológica parece ser importante na intensidade do investimento geral em atividades inovativas.

No geral, observa-se pelos resultados que as firmas maiores e com estruturas de mercado maiores decidem investir mais em atividades inovativas, assim como a condição de apropriabilidade parece ser essencial para o engajamento da firma nessas atividades. Já com relação à intensidade desses investimentos, as variáveis mais relacionadas com o processo inovativo como apoio do governo, arranjo cooperativo e qualidade da mão de obra se mostraram positivas e estatisticamente significativas, o que era esperado devido ao direcionamento dessas variáveis para a incorporação de um perfil inovador. Por fim, a competitividade internacional parece não impactar no gasto em atividades inovativas das firmas mais intensivas em tecnologia e das firmas com nível de intensidade tecnológica média-baixa, o que mostra que os ramos mais complexos e com padrões tecnológicos mais desenvolvidos não estão voltados para o mercado externo.

5.2.2 Estimções de Inovação Ambiental

A segunda etapa é composta pela estimação de um modelo *Probit*, utilizando a variável binária de inovação ambiental ampla e restrita como dependente nas equações. Os resultados foram relativos às duas definições, a saber: o conceito de inovação ambiental ampla focada no desempenho, ao invés da ótica ambiental e, portanto, um possível sub-produto da inovação convencional; e, o conceito de inovação ambiental mais restrita com base em um objetivo *a priori* de redução de impactos ambientais. A variável gastos em atividades inovativas (*G*) foi incluída como variável explicativa na função de produção de conhecimento, de modo que essa

variável foi inserida nessa etapa com o seu valor previsto da etapa anterior. A Tabela 6 apresenta os resultados dos modelos com a inovação ambiental ampla como variável dependente.

Tabela 6 – Estimações: Inovação Ambiental ampla – *Probit*

Variável Dependente: IA	Efeito Marginal				
	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
$\ln\hat{G}$	0,008*** (0,002)	0,009*** (0,003)	-0,0009 (0,004)	0,016*** (0,003)	-0,003 (0,004)
$\ln PO$	0,034*** (0,003)	0,006*** (0,0005)	-0,007 (0,007)	-0,002 (0,007)	0,025*** (0,008)
REG	0,341*** (0,005)	0,362*** (0,008)	0,347*** (0,012)	0,335*** (0,011)	0,330*** (0,016)
Coop	0,058*** (0,008)	0,065*** (0,013)	0,078*** (0,019)	0,085*** (0,016)	0,004 (0,019)
Ap_Gov	0,065*** (0,011)	0,089*** (0,019)	0,099*** (0,028)	0,059*** (0,020)	0,032 (0,025)
Média-baixa	0,040** (0,017)	-	-	-	-
Média-alta	-0,089*** (0,017)	-	-	-	-
Alta	0,038* (0,020)	-	-	-	-
ρ	0,660	0,835	0,702	0,641	0,551
Log Likelihood	-23064	-10297	-5298	-5283	-2684
χ^2	3743***	1675***	711,5***	890,8***	493,7***
Nº de Obs.	43607	19247	9567	9836	4957

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses e foram estimados por *bootstrap* com mil replicações. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, bem como as constantes.

Pela Tabela 6, percebe-se que a maioria das variáveis estão positivamente relacionadas e os coeficientes foram estatisticamente significativos. As variáveis que não se mostraram estatisticamente significativas foram: gastos com atividades inovativas (G) nas amostras de firmas com intensidade tecnológica média-baixa e alta; tamanho da firma (PO) nas amostras de firmas com intensidade tecnológica média-baixa e média-alta; arranjo cooperativo ($Coop$) na amostra de firmas com intensidade tecnológica alta e as *dummies* de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta na amostra total.

O coeficiente da variável gasto com atividade inovativas (G) prevista da etapa anterior mostra que quanto maior for o nível de investimento em atividades inovativas, maior será a probabilidade de as firmas inovarem com redução de impacto sobre o meio ambiente. Assim,

verifica-se que os gastos em atividades inovativas aumenta a probabilidade da firma adotar inovação ambiental em 0,8 pontos percentuais (p.p.). Esse resultado acontece tanto nas amostras totais quanto nas amostras dos níveis de intensidade tecnológica baixa e média-alta, no qual a probabilidade é ainda maior para as empresas mais intensivas em tecnologia (1,6 p.p.) em comparação com as firmas menos intensivas (0,9 p.p.). Nos setores de alta intensidade tecnológica, não se observou correlação entre gastos em atividade inovativas e inovação ambiental. Esse resultado pode ser justificado pelo fato das firmas desses setores serem induzidas à adotar padrões ambientais mais rígidos, inibindo os gastos com atividades inovativas, especificamente inovações ambientais. Portanto, o envolvimento desses setores nas inovações ambientais está ligado a sua propensão a inovar de forma convencional, mas também a sua relação com o ambiente, tais como as atividades produtivas, o nível das emissões de poluentes e as regulações ambientais. Desse modo, comprova-se a importância do investimento dessas atividades para a geração de inovação ambiental envolvendo os níveis de intensidade tecnológica. Esses resultados correspondem com as evidências empíricas encontradas por Griffith *et al.* (2006) e Horbach (2006).

Do mesmo modo, como esperado, o tamanho da firma (*PO*) parece ser um importante determinante para que as firmas realizem inovação ambiental. Verifica-se que a probabilidade de inovar com redução do impacto ambiental com relação ao tamanho da firma, medida em termos de números de trabalhadores, aumenta em 3,4 p.p. na amostra total e também nas amostras de firmas menos intensivas (0,6 p.p.) e mais intensivas em tecnologia (2,5 p.p.), enquanto que na amostra de intensidade média-baixa e média-alta a variável tamanho da firma não se mostrou significativa. Assim como na primeira etapa do modelo, a hipótese sobre o tamanho da firma acontece nessa segunda etapa, exceto para as firmas com intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Nesse contexto, as firmas grandes têm maiores possibilidades de fazerem cobertura dos riscos inerentes à incerteza característica à inovação tecnológica, ou, equivalentemente, têm maior margem de manobra estratégica para alocar os custos da mesma por diferentes atividades. Esses resultados são consistentes com os encontrados por Brunnermeier e Cohen (2003), Marta *et al.* (2011) e Ferraz e Seroa da Motta (2001). Entretanto, Cohen e Levinthal (1989) assinalam o caráter inconclusivo do conjunto de resultados relacionando tamanho da firma e inovatividade por setores. Os autores explicam que tal disparidade estaria na importância de características específicas de cada setor industrial e das próprias firmas.

A variável regulação ambiental (*REG*) se configura como o determinante mais importante em relação às demais variáveis, devido à magnitude apresentada pelo coeficiente,

sendo significativo positivo em todos os modelos, evidenciando que as firmas que se enquadraram em uma regulação ambiental têm 34 p.p. em realizar inovação ambiental ampla. Os resultados são muito próximos quando se analisa por nível de intensidade tecnológica. Este resultado confirma a importância da regulação ambiental em influenciar a probabilidade das empresas em realizar inovação ambiental ampla e corresponde aos resultados apresentados por Horbach e Rennings (2012), Del Rio *et al.* (2011), Brunnermeier e Cohen (2003) e Frondel *et al.* (2008). Ademais, esse resultado é consistente com a versão “fraca” da Hipótese de Porter, segundo a qual existe uma ligação entre a intensidade da regulação e a inovação ambiental.

É importante notar que, com base nos resultados, fica evidente que a regulação é importante para a indução de inovação ambiental. Essa variável gera um sinal para as firmas de possíveis ineficiências de recursos, criando uma possibilidade de melhora tecnológica. Através da geração de pressão nas firmas e setores, a regulação pode auxiliar a superar a inércia e romper o *lock-in* de determinadas trajetórias tecnológicas. Ademais, a regulação pode gerar informação que ajude a reduzir as incertezas inerentes aos processos inovativos, que são ainda maiores quando se trata das inovações ambientais. E, a regulação também pode gerar vantagens competitivas para as firmas que tenham se adaptado mais rápido às regras, pois a geração de uma resposta inovativa anterior às demais concorrentes acarreta vantagens de ser um *first-mover*, tais como o aumento do *market share* e o incremento da capacidade de *learning-by-doing*.

A variável arranjo cooperativo (*Coop*) apresentou resultado significativo e possui coeficiente positivo para a amostra de firmas com intensidade tecnológica baixa, média-baixa e média-alta. Pela Tabela 6, verifica-se que as firmas que participam de alguma rede de cooperação têm 5,8 p.p em adotar inovação ambiental ampla na amostra total. Quando se analisa a amostra por níveis de intensidade tecnológica, observa-se que a probabilidade de inovar com redução de impacto ambiental aumenta para aquelas firmas que participam de arranjos cooperativos em, aproximadamente, 6,5 p.p para a amostra com intensidade tecnológica baixa; 7,8 p.p para a amostra com intensidade tecnológica média-baixa; e, 8,5 p.p para a amostra com intensidade tecnológica média-alta. Esse resultado confirma os argumentos de diversos autores [De Marchi (2012), Mazzanti e Zoboli (2006), Horbach (2006)], nos quais o pertencimento a algum tipo de grupo ou rede aparece como um indutor positivo da inovação ambiental, ressaltando a importância de “economias horizontais de escala” e estratégias cooperativas para esse tipo de inovação. A formação de arranjos cooperativos também lidam com o fator incerteza, que pode ser ainda maior para as inovações ambientais e, portanto,

envolvem maiores riscos, principalmente quando são radicais ou com elevado grau de novidade (BARBIERI, *et al.*, 2010), que podem ser atenuados através de parcerias para inovação.

As estimativas demonstram que a variável apoio do governo (*Ap_Gov*) foram positivas e significativas, confirmando a relevância do papel exercido pelo contexto institucional representado pela espera pública na promoção de iniciativas de investimento em inovações ambientais nas indústrias. Para a amostra total, verifica-se que o apoio do governo aumenta a probabilidade da firma adotar inovação ambiental em 6,5 p.p. Verifica-se ainda que o apoio do governo aumenta a probabilidade de adotar inovação ambiental em 8,9 p.p. para as firmas com intensidade tecnológica baixa, aumenta em 9,9 p.p. para as firmas com intensidade tecnológica média-baixa e aumenta em 5,9 p.p. para as firmas com intensidade tecnológica média-alta, sendo não significativo para as firmas com intensidade tecnológica alta. Portanto, verifica-se que a probabilidade é maior para os níveis menos intensivos em tecnologia. Esse resultado pode justificado pela falta de recursos ou capacidade próprios das firmas desses setores para realizar inovação ambiental, recebendo mais incentivos do governo. Os resultados também sugerem que as empresas que utilizam apoio do governo têm obrigação maior de mostrar resultados, ao mesmo e à sociedade em geral, o que aumentaria sua preocupação com resultados ambientais. Estimativas similares foram encontradas em Fabiani e Sbragia (2014).

Pela Tabela 6 também é possível observar, pelas amostras totais, que o fato da empresa pertencer aos setores industriais de intensidade alta aumenta a probabilidade de a empresa adotar inovação ambiental, o que demonstra a força das atividades econômicas mais intensivas em tecnologia para esse tipo de inovação. Porém, isso não pode ser percebido para os setores de média-alta intensidade tecnológica que apresentou coeficiente não significativo. Assim, as firmas podem possuir capacidade de inovação independentemente do estrato de intensidade tecnológica evidenciando a relevância das demais capacidades para assegurar o seu desempenho. Portanto, esse resultado demonstra que as diferenças setoriais são importantes no que se refere aos seus padrões tecnológicos.

A Tabela 7 apresenta os resultados dos modelos com a inovação ambiental restrita como variável dependente.

Tabela 7 – Estimacões: Inovação Ambiental restrita – *Probit*

Variável Dependente: IA	Efeito Marginal				
	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
$\ln\hat{G}$	0,016*** (0,001)	0,019*** (0,002)	0,016*** (0,003)	0,018*** (0,003)	0,008** (0,004)
$\ln PO$	0,018*** (0,003)	0,017** (0,003)	0,006 (0,005)	0,027*** (0,005)	0,045*** (0,007)
REG	0,230*** (0,005)	0,220*** (0,007)	0,223*** (0,011)	0,228*** (0,009)	0,251*** (0,014)
Coop	0,054*** (0,005)	0,044*** (0,009)	0,065*** (0,012)	0,079*** (0,012)	0,008 (0,016)
Ap_Gov	0,023*** (0,008)	0,018*** (0,013)	0,014*** (0,017)	0,026*** (0,015)	0,015 (0,020)
Média-baixa	0,041*** (0,013)	-	-	-	-
Média-alta	-0,059*** (0,011)	-	-	-	-
Alta	0,011*** (0,001)	-	-	-	-
ρ	0,629	0,642	0,663	0,601	0,590
Log Likelihood	-23992	-9171	-4757	-4862	-2451
χ^2	6216***	1402***	1328***	1260***	616,3***
Nº de Obs.	45982	20206	10246	10314	5216

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses e foram estimados por *bootstrap* com mil replicações. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, bem como as constantes.

Pela Tabela 7 é possível observar que a maior parte das variáveis apresentaram resultados que seguem os resultados em relação ao conceito de inovação ambiental amplo em termos de sinais e significância. Nesse modelo, os efeitos marginais mostram que os gastos com atividades inovativas têm maior efeito sobre a probabilidade das firmas adotarem inovação ambiental restrita (1,6 p.p) em relação à inovação ambiental ampla (0,08 p.p).

O papel da regulação ambiental, apesar de se mostrar novamente como um forte indutor de inovação ambiental, parece ser menos importante nesse conceito de inovação ambiental restrita. Os resultados são muito próximos quando se analisa por nível de intensidade tecnológica. Esse resultado corrobora novamente com a versão “fraca” da hipótese de Porter, evidenciando que existe uma relação positiva entre a regulação e a inovação ambiental restrita. Além disso, é possível verificar um padrão monotônico em relação à regulação ambiental para os níveis de intensidade tecnológica.

De modo geral, ao comparar os modelos com as variáveis de inovação ambiental ampla e restrita, verifica-se que a influência das variáveis explicativas sobre a inovação ambiental restrita se mostrou mais evidente, de modo que é possível constatar que a definição de inovação ambiental restrita se mostra mais forte ao captar melhor o objetivo de redução de impacto sobre o meio ambiente. Assim, as evidências empíricas sobre os determinantes da inovação ambiental tanto ampla quanto restrita apresentam semelhanças com os resultados obtidos por outros trabalhos, sobretudo, por aqueles que utilizaram dados da PINTEC [Lucchesi (2014); Podcamenti e Queiroz (2014)]. Portanto, os resultados sugerem que os gastos com atividades inovativas, as regulações ambientais, os arranjos cooperativos, o tamanho da firma e o apoio do governo são capazes de influenciar positivamente as inovações ambientais ampla e restrita, de modo mais expressivo sobre essa última.

5.2.2.1 Analisando a heterogeneidade da inovação ambiental *versus* inovação convencional

Com o objetivo de verificar a existência de heterogeneidade em relação aos determinantes dos dois tipos de inovação, realizou-se uma variação na segunda etapa do modelo CDM para verificar as possíveis especificidades entre as variáveis que determinam a inovação ambiental e restrita e que determinam a inovação convencional. A Tabela 8 apresenta a estimação do modelo com as variáveis inovação ambiental restrita e a inovação convencional como dependentes. Verifica-se que a correlação $\rho = 0,466$ entre as duas equações é estatisticamente significativa, indicando que o modelo *probit* bivariado pode ser aplicado para a estimação. Uma vez que ρ é não nula, a estimação dos modelos separadamente por *probits* univariados é ineficiente.

Tabela 8 – Estimações: Inovação Ambiental restrita (IA) e Inovação Convencional (IC) – *Probit* Bivariado – Efeitos Marginais

Variáveis	y = Pr[IA restrita=1]	y = Pr[IC=1]	y = Pr[IA restrita=1 IC=1]	y = Pr[IC=1 IA restrita=1]	y=Pr[Não IA=0 e IC=0]	y=Pr[Apenas IA restrita=1 e IC=0]	y=Pr[Apenas IC=1 e IA=0]	y=Pr[IA restrita=1 e IC=1]
<i>lnG</i>	0,005*** (0,0006)	0,011*** (0,001)	0,002** (0,001)	0,003*** (0,0003)	-0,0004 (0,006)	0,005*** (0,001)	0,006*** (0,002)	0,011*** (0,001)
<i>lnPO</i>	0,006*** (0,0009)	0,021*** (0,002)	0,003 (0,001)	0,007* (0,0003)	0,006*** (0,0009)	0,004** (0,002)	0,015*** (0,005)	0,021*** (0,002)
<i>REG</i>	0,224** (0,003)	0,097*** (0,003)	0,258*** (0,045)	0,005*** (0,0008)	0,097*** (0,003)	0,127*** (0,05)	0,012*** (0,0001)	0,254*** (0,004)
<i>Coop</i>	0,054*** (0,004)	0,007*** (0,003)	0,045*** (0,005)	-0,004 (0,001)	0,006*** (0,003)	0,061*** (0,005)	0,001*** (0,0002)	0,045*** (0,006)
<i>Ap_Gov</i>	0,029*** (0,007)	0,008* (0,004)	0,043*** (0,008)	-0,0004 (0,001)	0,008* (0,005)	0,022*** (0,008)	0,005*** (0,0002)	0,043*** (0,008)
<i>Inf cad</i>	0,009*** (0,003)	0,125*** (0,006)	0,058*** (0,007)	0,074*** (0,004)	0,008*** (0,003)	0,001*** (0,006)	0,116*** (0,0002)	0,091*** (0,006)
<i>Média -baixa</i>	-0,029* (0,017)	-0,177*** (0,025)			-	-	-	-
<i>Média -alta</i>	-0,099*** (0,018)	-0,099*** (0,027)			-	-	-	-
<i>Alta</i>	0,144*** (0,024)	0,076** (0,035)			-	-	-	-
<i>Athp</i>	0,505***							
<i>ρ</i>	0,466***							
<i>Nº de Obs.</i>	45982							

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses e foram estimados por *bootstrap* com mil replicações. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, bem como as constantes.

Pela Tabela 8, verifica-se que os efeitos marginais das variáveis incluídas apresentam, em geral, os sinais esperados e foram estatisticamente significativos para as firmas que adotaram inovação ambiental restrita ou adotaram inovação convencional separadamente. As firmas que investiram em gastos com atividades inovativas aumentam em 1,1 p.p a probabilidade de adotar inovação convencional, enquanto as firmas que investiram em gastos com atividades inovativas aumentam em 0,5 p.p. aumentam a probabilidade de adotar inovação ambiental restrita. Verifica-se ainda que os efeitos marginais sobre a probabilidade de adotar apenas inovação ambiental restrita é um pouco menor (0,05 p.p) do que a probabilidade de adotar inovação convencional (0,05 p.p) com os gastos em atividade inovativas.

De forma bastante expressiva a regulação se mostra como importante indutora de inovação ambiental restrita, de modo que as firmas que se enquadram em regulamentos aumentam em 24,4 p.p. a probabilidade de realizar inovação ambiental, enquanto aumentam em 9,7 p.p. a probabilidade de realizar inovação convencional. As firmas que se enquadram em

regulamentos aumentam em 12,7 p.p. a probabilidade de realizar apenas inovação ambiental, enquanto aumentam em 0,01 p.p. a probabilidade de realizar apenas inovação convencional.

Considerando o tamanho da firma, as empresas maiores em termos de empregados têm menos probabilidade de adotar inovação ambiental restrita (0,6 p.p.), mas têm maior probabilidade de adotar inovação convencional (2,0 p.p.). Em relação à variável arranjo cooperativo, verifica-se que as firmas que participam de alguma rede de cooperação aumentam em 5,4 p.p. a probabilidade de adotar inovação ambiental restrita. O efeito é bem menor sobre a probabilidade de adotar inovação convencional. A variável apoio do governo se comportou de modo semelhante em relação aos dois tipos de inovações.

Em relação aos efeitos marginais condicionais, verifica-se que a probabilidade de uma firma adotar inovação ambiental restrita dado que ela adotou inovação convencional é positiva e significativa com os gastos com as atividades inovativas (0,2 p.p.). O mesmo pode ser observado sobre a probabilidade de uma firma adotar inovação convencional dado que ela adotou inovação ambiental restrita (0,3 p.p.). A regulação se mostra novamente como importante na determinante na realização de inovação ambiental restrita, de modo que as firmas que se enquadraram em regulamentos aumentam a probabilidade de realizar inovação ambiental restrita em 25,8 p.p. dado que ela adotou inovação convencional. É possível verificar ainda que o efeito da regulação é menos expressivo para as firmas que adotaram inovação convencional dado que elas adotaram inovação ambiental. Ademais, observando-se o arranjo cooperativo e o apoio do governo, percebe-se que as duas variáveis aumentam a probabilidade das firmas em adotar inovação ambiental dado que elas adotaram inovação convencional. Porém, quando se analisa a probabilidade das firmas em adotar inovação convencional dado que as firmas adotaram inovação ambiental restrita isso não pode ser percebido.

Os efeitos marginais sobre a probabilidade de inovação conjunta também estão apresentados na Tabela 8, oferecendo *insights* interessantes sobre como uma escolha de adoção dos dois tipos de inovação conjuntamente é feita pelas empresas. Observa-se que a probabilidade de uma firma adotar inovação ambiental restrita e adotar inovação convencional é positiva e significativa com os gastos com as atividades inovativas. Em geral, as empresas que combinam inovações ambientais e convencionais são tipicamente mais dotadas de capacidades de inovação do que as empresas que introduzem exclusivamente inovações ambientais. Verifica-se que os gastos com atividades inovativas aumentam em 1,1 p.p. a probabilidade das firmas adotarem de forma conjunta inovação ambiental e inovação convencional.

Analisando o tamanho da firma, verifica-se que as empresas maiores em número de empregados aumentam em 2,1 p.p. a probabilidade de adotar em conjunto inovação ambiental

restrita e convencional, apresentando uma vantagem para as firmas, uma vez que a probabilidade de adotar somente inovação ambiental restrita (0,4 p.p.) e probabilidade de somente adotar inovação convencional (1,5 p.p.) são menores do que se as firmas o fizerem conjuntamente. Em relação à regulação ambiental, a probabilidade de adoção de inovação ambiental restrita conjuntamente com a inovação convencional tem sido expressivamente impulsionada por forças reguladoras (25,4 p.p.). Analisando os efeitos marginais individuais, o impacto da regulação ambiental sobre a probabilidade de adotar apenas inovação ambiental restrita (12,7 p.p.) é expressivamente maior do que o impacto sobre adoção de apenas inovação convencional (0,01 p.p.).

Em relação ao arranjo cooperativo, verifica-se que as firmas que participam de alguma rede de cooperação aumentam em 4,5 p.p. a probabilidade em adotar inovação ambiental restrita e inovação convencional de forma conjunta, de modo que à medida que as firmas trocam experiências pela participação em arranjos cooperativos, as mesmas podem melhorar suas capacidades de absorção ou implementação tanto de inovação ambiental restrita quanto de inovação convencional. Por meio da variável apoio do governo, percebe-se que as firmas que recebem algum tipo de incentivo do governo aumentam em 4,3 p.p. a probabilidade de realizar conjuntamente inovação ambiental restrita e inovação convencional. As fontes de informação com a cadeia produtiva se mostraram mais relevantes para a implementação de inovação ambiental restrita e inovação convencional.

Ao observar a variável de intensidade tecnológica, verifica-se que a participação em setores de alta tecnologia aumenta a probabilidade da firma em adotar inovação ambiental restrita de forma mais expressiva do que em relação à inovação convencional, sugerindo que empresas que pertencem a setores mais intensivos em tecnologia têm maior propensão a adotar inovação ambiental restrita do que empresas de setores menos intensivos em tecnologia.

De modo geral, os efeitos marginais conjuntos da adoção de inovação ambiental restrita e inovação convencional se mostraram significativos e maiores para todos os determinantes apresentados. Em particular, a regulação afeta de forma expressiva a adoção de inovação ambiental restrita e inovação convencional. As fontes de informação com a cadeia produtiva, se mostra relevante para a implementação dos dois tipos de inovação, mas de modo mais expressivo para a adoção de apenas inovação ambiental restrita. Esses resultados são consistentes com Florida (1996), Popp *et al.* (2007) e Horbach (2008), de modo que as demandas dos clientes também se apresentam como condutores das inovações ambientais.

Desse modo, esse modelo permitiu verificar as potenciais heterogeneidades existentes entre os dois tipos de inovação, de modo que foi possível perceber algumas especificidades dos

determinantes da inovação ambiental restrita em relação à inovação convencional. Verificou-se que a regulação ambiental, a cooperação e o apoio do governo impactam de forma mais expressiva sobre a probabilidade das firmas em adotarem inovação ambiental restrita. Já os gastos com atividades inovativas, o tamanho da firma e as fontes de informação impactam mais sobre a probabilidade de adotar inovação convencional. Cabe ressaltar que quando se analisou a probabilidade conjunta de realizar inovação ambiental restrita e inovação convencional todas as variáveis apresentaram resultados bastante significativos, evidenciando essas variáveis podem favorecer a adoção combinada desses dois tipos de inovação.

5.2.3 Estimações de Produtividade

A terceira e última etapa do modelo CDM apresentado é composta pela estimação do modelo com efeitos fixos, resultado do teste de Hausman, com a produtividade do trabalho (*PT*) em logaritmo como variável dependente. A variável de inovação ambiental ampla e restrita são introduzidas, separadamente, nos modelos com os seus valores previstos da etapa anterior, sendo utilizada como variáveis explicativas. Os resultados das estimações considerando a inovação ambiental ampla prevista estão reportados na Tabela 9 e considerando a inovação ambiental restrita prevista pela etapa anterior estão reportados na Tabela 10. As estimações apresentaram resultados semelhantes para os dois conceitos de inovação ambiental.

Tabela 9 – Estimações: Produtividade – Efeitos fixos

continua

Variável Dependente: lnPT	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
\widehat{IA} ampla	0,074*** (0,016)	-0,064 (0,043)	0,094** (0,041)	0,105*** (0,030)	0,079* (0,043)
REG	0,211*** (0,022)	0,157** (0,062)	0,240*** (0,058)	0,171*** (0,038)	0,088 (0,059)
lnMkt	0,197*** (0,006)	0,347*** (0,028)	0,352*** (0,052)	0,219*** (0,031)	0,196*** (0,033)
lnK	0,162*** (0,009)	0,200*** (0,025)	0,253*** (0,035)	0,298*** (0,025)	0,260*** (0,044)
lnMP	0,226*** (0,011)	0,126*** (0,030)	0,107*** (0,034)	0,224*** (0,031)	0,210*** (0,038)

Variável Dependente: lnPT	conclusão				
	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
Capcontr	-0,069*** (0,020)	-0,057*** (0,006)	-0,023*** (0,004)	-0,028*** (0,005)	-0,033*** (0,005)
Exp	0,008** (0,001)	0,008*** (0,003)	0,009*** (0,003)	0,006*** (0,003)	0,004*** (0,0003)
Média-baixa	0,230*** (0,021)	-	-	-	-
Média-alta	0,398*** (0,022)	-	-	-	-
Alta	0,340*** (0,027)	-	-	-	-
R ² (<i>within</i>)	0,133	0,091	0,160	0,280	0,198
R ² (<i>between</i>)	0,428	0,321	0,424	0,436	0,400
R ² (<i>overall</i>)	0,425	0,284	0,429	0,450	0,430
Nº de Obs.	43607	19247	9567	9836	4957

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses e foram estimados por *bootstrap* com mil replicações. Aplicou-se o teste de Hausman, com o objetivo de comparar os modelos de efeitos fixos e aleatórios, de modo que o resultado ($\chi^2 = 253,70$ com um $p_valor = 0,0001$) foi favorável ao primeiro, aceitando a hipótese de que o modelo de painel com efeito fixo é melhor do que o aleatório. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, uma vez que os demais modelos não apresentam um intercepto global.

Tabela 10 – Estimações: Produtividade – Efeitos fixos continua

Variável Dependente: lnPT	conclusão				
	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
\widehat{IA} restrita	0,197*** (0,019)	0,199*** (0,072)	0,313*** (0,052)	0,261*** (0,035)	0,207*** (0,058)
REG	0,338*** (0,022)	0,308*** (0,073)	0,481*** (0,065)	0,322*** (0,043)	0,221*** (0,071)
lnMkt	0,213*** (0,006)	0,358*** (0,031)	0,375*** (0,052)	0,228** (0,032)	0,196*** (0,033)
lnK	0,157*** (0,008)	0,195*** (0,025)	0,241*** (0,035)	0,272*** (0,025)	0,247*** (0,044)
lnMP	0,224*** (0,011)	0,117*** (0,031)	0,092*** (0,034)	0,207*** (0,030)	0,205*** (0,038)
Capcontr	-0,081*** (0,020)	-0,054*** (0,006)	-0,008*** (0,004)	-0,027*** (0,005)	0,037 (0,056)
Exp	0,005*** (0,001)	0,006*** (0,003)	0,008*** (0,003)	0,003* (0,002)	0,005* (0,003)

Variável Dependente: lnPT	conclusão				
	(1) Geral	(2) Baixa	(3) Média-baixa	(4) Média-alta	(5) Alta
Média-baixa	0,222*** (0,021)	-	-	-	-
Média-alta	0,408*** (0,022)	-	-	-	-
Alta	0,364*** (0,027)	-	-	-	-
R ² (<i>within</i>)	0,138	0,093	0,168	0,291	0,202
R ² (<i>between</i>)	0,429	0,320	0,425	0,437	0,392
R ² (<i>overall</i>)	0,425	0,281	0,429	0,450	0,421
Nº de Obs.	45982	20206	10246	10314	5216

Fonte: Elaboração própria a partir das bases citadas no Quadro 1.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses e foram estimados por *bootstrap* com mil replicações. Aplicou-se o teste de Hausman, com o objetivo de comparar os modelos de efeitos fixos e aleatórios, de modo que o resultado ($\chi^2 = 250,30$ com um $p_valor = 0,0001$) foi favorável ao primeiro, aceitando a hipótese de que o modelo de painel com efeito fixo é melhor do que o aleatório. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, uma vez que os demais modelos não apresentam um intercepto global.

Com base nas Tabela 9 e 10, percebe-se que tanto a adoção de inovação ambiental (*IA*) ampla quanto a adoção de inovação ambiental restrita tem um impacto geral positivo e significativo sobre a produtividade. Isso sugere que tanto a introdução de inovação ambiental ampla, entendida como sub-produto da inovação convencional quanto a introdução de inovação ambiental restrita, com o objetivo *a priori* de redução de impacto sobre o meio ambiente, influenciam diretamente e de forma significativa sobre a melhora na produtividade das firmas e conseqüentemente, uma melhor performance competitiva em relação às demais empresas inovadoras. Esse resultado pode ser verificado também para as empresas por setores de intensidade tecnológica, exceto para as firmas menos intensivas em tecnologia em relação à inovação ambiental ampla, com maior magnitude para as firmas com intensidade tecnológica média-baixa (31,3%), média-alta (26,1%) e alta (20,7%) para o modelo com inovação ambiental restrita. Assim, na média, a inovação ambiental restrita parece exercer um efeito maior sobre o desempenho produtivo dessas firmas. Esses resultados são consistentes com os apresentados por Marin (2014), Doran e Ryan (2012) e Lanoie *et al.* (2011).

Por meio da análise da regulação ambiental (*REG*), observa-se que a mesma se mostrou positiva e estatisticamente significativa para todos os modelos apresentados, com exceção das firmas mais intensivas em tecnologia na Tabela 9. Esses resultados sugerem ao levar em conta a regulações ambientais vigentes as firmas apresentaram melhora na sua produtividade e,

portanto, no seu desempenho competitivo. Esse resultado também é relevante para o estudo, uma vez que corrobora com a literatura e as evidências empíricas de que as regulações são um fator crucial na dinâmica entre as inovações e o desempenho econômico e competitivo das firmas. Ademais, esse resultado é consistente com a versão “forte” da Hipótese de Porter que aponta que a proteção do meio ambiente com base em regulações ambientais pode funcionar como um estímulo para o desempenho dos negócios, e, portanto, afetar positivamente o desempenho competitivo das firmas. Os modelos apresentados na Tabela 10 vêm reforçar a confirmação da versão “forte” da hipótese de Porter, com uma definição de inovação ambiental que é mais restritiva em termos de objetivos.

A estrutura de mercado, representada pela variável *market share* aparece com um fator importante para a produtividade das firmas. Shepherd (1972) considera que o *market share*, ou seja, a parcela de mercado é um elemento-chave da relação entre estrutura do mercado e performance produtiva. Pelos resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, verifica-se um efeito relevante positivo e estatisticamente significativo do *market share* sobre a produtividade. O mesmo resultado pode ser verificado para as amostras conforme a intensidade tecnológica, observando que as firmas menos intensivas em tecnologia apresentaram um coeficiente um pouco mais expressivo que as firmas mais intensivas em tecnologia. Esse resultado é consistente com os encontrados por Rexhäuser e Rammer (2014).

Pelas Tabelas 9 e 10, as variáveis capital por trabalhador (*K*) e consumo de matérias primas por trabalhador (*MP*) que compõem a função de produção tradicional apresentaram sinais positivos e são estatisticamente significativos em todos os modelos. Desse modo, fica evidente que a função de produção tradicional de insumos se ajusta bem ao modelo. O coeficiente estimado para o estoque de capital é significativo para todos grupos de firmas baseados em seus níveis de intensidade tecnológica e apresenta um padrão monotônico em relação aos níveis de intensidade tecnológica, de modo que quanto mais intensivo em tecnologia for a firma maior é o seu estoque de capital. O consumo de matérias primas, por sua vez, também apresenta um impacto sobre a produtividade positivo e ascendente quando se passa de setores de mais baixa para os setores de mais alta intensidade tecnológica. De modo geral, nos setores de maior intensidade tecnológica, existe uma associação maior entre produtividade do trabalho e estoque de capital do que entre produtividade do trabalho e consumo de matérias primas, principalmente ao analisar o modelo que contém a inovação ambiental ampla como variável explicativa.

Destacam-se também o capital controlador (*Capcontr*) que se relacionam com a produtividade e que impactam negativamente mais as indústrias menos intensivas em

tecnologia do que as indústrias mais intensivas no modelo com a definição de inovação ambiental ampla. Já no modelo com a definição de inovação restrita não foi possível verificar esse resultado para as firmas com nível de intensidade tecnológica alta. Nota-se que a magnitude dessa relação entre a origem do capital ser nacional e a produtividade diminui na medida em que passamos de setores com baixa para setores com alta intensidade tecnológica, apesar de apresentar resultados bem próximos tanto no modelo com a inovação ambiental ampla quanto com a inovação ambiental restrita.

Ademais, observa-se ainda, pelas Tabelas 9 e 10, que a variável exportação (*Exp*) apresenta um coeficiente com o sinal positivo e significativo estatisticamente para todas as amostras. Esse resultado sugere que as empresas que têm o exterior como seu mercado têm uma relação positiva com produtividade. Como as empresas estão mais expostas à competição, os ganhos de produtividade passam a ser uma estratégia para ampliar o mercado de produtos destas, levando-as a se tornarem mais produtivas.

A dinâmica setorial inerente a cada setor de intensidade tecnológica determina a forma de transformação industrial e assim a relação com os distintos aspectos que a tornam mais ou menos produtivos. Pelas Tabelas 9 e 10, verifica-se que as *dummies* de intensidade tecnológica se relacionaram positivamente com a produtividade no modelo apresentado na coluna (2). Ademais, percebe-se que nos modelos por nível de intensidade tecnológica, as variáveis explicativas, em sua maioria, se relacionam positivamente com a produtividade, de modo que em alguns setores o efeito é mais forte que em outros setores. Esta especificidade da dinâmica setorial se configura no efeito fixo captado pelo modelo e ratifica a importância da dinâmica setorial nas relações intrínsecas da produtividade.

De modo geral, ao comparar os modelos com as variáveis de inovação ambiental ampla e restrita, verifica-se que os modelos que consideraram a inovação ambiental restrita como variável explicativa se mostraram mais consistentes em relação à sua influência sobre a produtividade das firmas. Entretanto, pode-se concluir que os modelos com ambos os tipos de inovação apresentaram resultados significativos e expressivos sobre a produtividade, de modo que foi possível em ambos os modelos confirmar a versão “forte” da hipótese de Porter de que existe influência da regulação ambiental sobre a produtividade das firmas.

6 CONCLUSÕES

A relação entre esforço inovativo, inovação ambiental e produtividade foi desenvolvida nesse estudo sob a análise teórica da inovação para contribuir com o debate empírico. Buscou-se o arcabouço teórico da inovação para auxiliar na definição dos fatores que determinam a inovação ambiental e os seus impactos sobre a produtividade. Nesse contexto, foi possível identificar dois conceitos para a inovação ambiental: o conceito de inovação ambiental amplo focado no desempenho da firma, tido como um possível sub-produto da inovação convencional; e, o conceito de inovação ambiental mais restrito com base em um objetivo *a priori* da firma que é a redução de impactos sobre o meio ambiente.

Para compreender o padrão do processo inovativo da indústria brasileira, este trabalho se dedicou a uma análise empírica em nível da firma para verificar o impacto dos gastos em atividades inovativas sobre a inovação ambiental e desta sobre a produtividade. As evidências empíricas levantadas nesse estudo mostraram que a probabilidade de realizar inovação ambiental ampla ou restrita aumenta com um maior nível de investimentos em atividades inovativas. Além disso, regulação apareceu como um importante determinante dessas inovações para a indústria como um todo. Dada a sua relevância para a determinação da inovação ambiental ampla e restrita e sua importância na questão setorial, os resultados corroboraram com a versão “fraca” da hipótese de Porter, testada de forma explícita nesse estudo, ao confirmar que existe uma relação positiva entre a regulação e a inovação ambiental.

Outros fatores também se mostraram importantes na determinação da inovação ambiental, tais como o tamanho da firma, o apoio do governo, no qual firmas que participaram de programas governamentais voltados para a inovação se esforçaram mais para inovar, o arranjo cooperativo e a competitividade internacional apresentaram influência positivamente à inovação ambiental ampla e restrita. Portanto, constatou-se que a inovação ambiental é influenciada por fatores relacionados ao desenvolvimento tecnológico e ao ambiente regulatório.

Ademais, o estudo buscou identificar possíveis heterogeneidades entre os determinantes em relação à decisão da firma de realizar inovações convencionais e inovações ambientais restritas. O principal objetivo dessa análise foi verificar a existência de possíveis especificidades em relação aos determinantes dos dois tipos de inovação, uma vez que alguns fatores que levam a adoção de inovação ambiental podem ser diferentes dos fatores relacionados à inovação convencional. Os resultados apontaram que a regulação, a cooperação, o apoio do governo e as fontes de informação com a cadeia produtiva (clientes, fornecedores e

dos concorrentes) influenciaram de forma mais expressiva na adoção de inovação ambiental restrita em comparação com a inovação convencional, indicando, portanto, especificidades da inovação ambiental restrita em relação à inovação convencional. Os resultados mostraram ainda que os fatores afetam de forma mais expressiva quando há a combinação de inovação ambiental restrita e inovação convencional, evidenciando que esses determinantes podem ser importantes quanto à adoção combinada desses dois tipos de inovação.

Em relação ao impacto da inovação ambiental sobre a produtividade, os resultados mostraram que os modelos que mostraram que tanto a inovação ambiental restrita quanto a inovação ambiental ampla influenciaram positivamente a produtividade das firmas, de modo mais expressivo em relação à inovação ambiental restrita. Dentre as variáveis analisadas, a regulação ambiental se mostrou um importante fator de influência na melhora da produtividade e, portanto, no seu desempenho competitivo das firmas. Esse resultado também é relevante para o estudo, uma vez que corrobora com a literatura empírica de que as regulações são um fator crucial na dinâmica entre as inovações e o desempenho econômico e competitivo das firmas. Ademais, esse resultado confirma a versão “forte” da Hipótese de Porter, também testada de forma explícita nesse trabalho, que aponta que a proteção do meio ambiente com base em regulações ambientais pode funcionar como um estímulo para o desempenho dos negócios, e, portanto, afetar positivamente o desempenho competitivo das firmas.

O trabalho também buscou analisar o processo inovativo por meio de um recorte setorial dividido em quatro níveis de intensidade tecnológica: baixa, média-baixa, média-alta e alta, com o objetivo de captar as possíveis heterogeneidades existentes entre os setores da indústria brasileira. A constatação foi de que as firmas que pertencem a atividades econômicas menos intensivas em tecnologia adotam mais inovação ambiental. Uma vez que esses setores são os que menos gastam com atividades inovativas, uma justificativa para esse resultado é que dada a falta de recursos ou capacidade próprios para realizar algum tipo de inovação, esses setores recebem mais incentivos do governo do que as firmas mais intensivas em tecnologia, sendo essas as que mais investem em atividades inovativas. Ademais, setores mais intensivos em tecnologia foram os que mais se adequaram às normas e regulamentos. Nesse sentido, percebe-se que a regulação ambiental é um fator importante para impulsionar a inovação ambiental ampla e restrita, de modo a influenciar em uma produção mais limpa e apresentar instrumentos mais específicos de iniciativas empresariais que possam induzir as firmas a introduzirem produtos e processos menos danosos ao meio ambiente.

Desse modo, constatou-se que a adoção de inovação ambiental é setorialmente heterogênea e depende tanto da indução dessas inovações pela regulação quanto das

características dos setores e da capacidade de resposta de cada firma, evidenciando o caráter amplo e sistêmico do processo inovativo. Nesse sentido, o fortalecimento das agências de proteção ambiental é essencial, mas os instrumentos regulatórios devem ser flexíveis para que as firmas possam se adaptar às normas da maneira mais eficiente possível.

Para estudos futuros, sugere-se algumas extensões para a análise aqui apresentada: em relação aos determinantes da inovação ambiental seria interessante considerar o uso de patentes “verdes” como *proxy* para a inovação ambiental, uma vez que essa definição pode ser mais precisa para medir inovação ambiental. Entretanto, essa abordagem apresenta muitas dificuldades tanto em relação a sua definição quanto na identificação do depositador da patente. Outra sugestão seria incluir no questionário da PINTEC uma pergunta direta para identificar a adoção ou realização de inovação ambiental efetiva e os tipos de inovação ambiental realizados pelas firmas, dado que ainda não é possível estabelecer estas diferenciações com o conjunto de microdados do instrumento atual da PINTEC. Assim, os trabalhos podem ser desenvolvidos no sentido de buscar estabelecer uma relação mais definida, entre as empresas que adotam tecnologias limpas e *end-of-pipe*, identificando os fatores da sua adoção (voluntária ou conformidade a padrões normativos). Ademais, sugere-se ainda trabalhos que levem em conta uma análise comparativa dos impactos sobre a produtividade para as firmas que realizam inovação ambiental, seja ela ampla ou restrita, as firmas que realizam inovação convencional e as firmas que não são inovadoras e, ainda, a aplicação de modelos alternativos que possam captar de forma dinâmica a relação entre inovação ambiental e produtividade tais como os modelos de simulação.

O tema abordado neste estudo tem relevância para o contexto atual no nível das firmas como unidade de análise da pesquisa, visto que proporciona um debate pautado em evidências empíricas e em modelos alternativos que foram capazes de diferenciar detalhes importantes para as conclusões da análise proposta. A proposição realizada no trabalho de analisar inovação ambiental em sua definição ampla e restrita traz um panorama capaz de dotar gestores privados de dados e informações sistematizadas sobre indústrias inovadoras pautadas na redução de danos ambientais, permitindo a minimização das externalidades negativas dos negócios e ainda possíveis ganhos de competitividade ao adotar esse tipo de inovação.

Finalmente, o trabalho teve como perspectiva trazer análises empíricas consubstanciadas na realidade vivenciada pelas empresas industriais brasileiras com significativas colaborações para o debate atual na perspectiva de inovações que gerem a redução de danos ambientais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURZSTYN, L.; HEMOUS, D. The environment and directed technical change. **American Economic Review**, v. 102, n. 1, pp. 131-166, 2012.

ACS, Z. A.; AUDRESTSHC, D. B.; FELDMAN, M. P. Real effects of academic research, **American Economic Review**, v. 82, pp. 363-367, 2002.

AGHION P.; DEWATRIPONT, M.; REY, P. Corporate Governance, Competition Policy and Industrial Policy, **European Economic Review**, n. 41, pp. 797–805, 1997.

AGHION, P.; BOULANGER, J.; COHEN, E. Rethinking industrial policy. Working paper, **Bruegel policy brief**, 2011.

AHMAD, S. On the Theory of Induced Invention, **Economic Journal**, n. LXXVI, pp. 344-357, 1966.

ALBORNOZ, F.; COLE, M.; ELLIOT, R.; ERCOLANI, M. In search of environmental spillovers. **The world economy**, 2009.

ALBRIZIO, S.; BOTTA, E.; KOZLUK, T.; ZIPPERER, V. Do Environmental Policies Matter for Productivity Growth? Insights from New Cross-Country Measures of Environmental Policies, **OECD Economics Department Working Paper**, N. 1176, OECD Publishing, Paris, 2014.

ALMEIDA, J. R.; MELL, C. S.; CAVALCANTI, Y. Gestão ambiental: planejamento, avaliação, implantação, operação e verificação, 2ª ed. Rio de Janeiro: THEX, 2004.

ALMEIDA, P.; KOGUT, B. Localization of knowledge and the mobility of engineers in regional networks. **Management Science**, v. 45, n. 7, 1999.

AMAZONAS, M. C. **Valor e Meio Ambiente**: Elementos para uma Abordagem Evolucionista. Tese de Doutorado, Campinas: UNICAMP. 2001.

AMBEC, S.; BARLA, P. A Theoretical Foundation of the Porter Hypothesis, **Economics Letters**, v. 75, n. 3, pp. 355–360, 2002.

AMBEC, S.; BARLA, P. Can Environmental Regulations Be Good for Business? An Assessment of the Porter Hypothesis, **Energy Studies Review**, v. 14, n. 2, pp. 42–62, 2006.

AMBEC, S.; BARLA, P. Quand la réglementation environnementale profite aux pollueurs. Survol des fondements théoriques de l'Hypothèse de Porter, **L'Actualité économique**, v. 83, n. 3, pp. 399–414, 2007.

AMBEC, S.; COHEN, M. A.; ELGIE, S.; LANOIE, P. The Porter Hypothesis at 20. Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness? In: **Resources for the Future Discussion Paper**, p. 28, 2011.

ANDRÉ, J. F., GONZÁLEZ, P.; PORTIERO, N. Strategic Quality Competition and the Porter

Hypothesis, **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 57, pp. 182–194, 2009.

ARROW, K. J. Economic welfare and the allocation of resources for invention. In: **National Bureau of Economic Research**. The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors. Princeton: Princeton University Press, 1962a.

ARROW, K. J. The implications of learning by doing. **Review of Economic Studies**, v. 29, p. 155-173, 1962b.

ARROW, K. J. Increasing returns: historiographic issues and path dependence. *The European Journal of the History of Economic Thought*, v.7, n.2, p.171-180, 2000.

ARTHUR, W. B. **Competing Techniques and Lock-in by Historical Events: The Dynamics of Allocation under Increasing Returns**. IIASA, Luxemburg,1983; revised edition, CEPR, Stanford University,1985. Unpublished Manuscript.

ARTHUR, W. B. Competing Technologies Increasing Returns and Lock-in by Historical Events. **Economic Journal**, v. 99, pp.116-131, 1989.

ARTHUR, W. B. **Increasing returns and path dependence in the economy**. The University of Michigan Press. 1994.

ARUNDEL, A., KEMP, R. & PARTO, S. Indicators for Environmental Innovation: what and how to measure. In: **International Handbook on Environment and Technology Management**, edited by Marinova D., Annandale D. e Philimore J., Edward Elgar, Cheltenham, 2007.

AVELLAR, A.P.; BRITTO, J.; STALLIVIERI, F. **Capacitação inovativa e produtividade na indústria brasileira: evidências da diversidade inter-setorial**. In: III Encontro da Associação Keynesiana Brasileira. 11 – 13 de agosto. 2010.

BARBIERI, J. C. et al. Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 50, n. 2, pp. 146-154, 2010.

BASCAVUSOGLU, E. **Patterns of technology transfer to the developing countries: differentiating between embodied and disembodied knowledge**, TEAM e CNRS, Working Papers, 2004.

BEAUDRY, P.; POITEVIN, M. Contract renegotiation: A simple framework and implications for organization theory. **Canadian Journal of Economics**, v. 28, n. 2, pp. 302–335, 1995.

BEISE, M., RENNINGS, K. Lead Markets and Regulation: a framework for analyzing the International Diffusion of Environmental Innovations. **Ecological Economics**, n. 52, pp. 5-17, 2005.

BELIN, J.; HORBACH, J.; OLTRA, V. Determinants and specificities of ecoinnovations – An econometric analysis for France and Germany based on the Community Innovation Survey. **DIME Working Paper on Environmental Innovation**, n. 10, 2009.

BRUNNERMEIER, S. B.; COHEN, M. A. Determinants of Environmental Innovation in US Manufacturing Industries, **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, n. 2, pp. 278-293, 2003.

BRUNNERMEIER, S. B.; LEVINSON, A. Examining the Evidence on Environmental Regulations and Industry Location, **Journal of Environment & Development**, v. 13, n. 6, pp. 6-41, 2004.

BRUTLAND, G. H. **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press, p. 398, 1987.

BUARQUE, S. C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**. 4.ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics Using Stata**. Texas: Stata Press, 2009.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

CARRILO-HERMOSILLA, J.; GONZÁLEZ, P. del R.; KÖNNÖLÄ, T. **Barriers to eco-innovation. Eco-innovation: when Sustainability and Competitiveness Shake Hands**. New York: Palgrave Macmillan, cap. 3, pp.28-50, 2009.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. Sistema de inovação e desenvolvimento: as implicações políticas. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, pp. 34-45, 2005.

CASSIMAN, B.; VEUGELERS, R. External technology sources: embodied or disembodied technology acquisition. University Pompeu Fabra, **Economics and Business**, Working Paper n. 444, pp 1-22, 2000.

CAVALCANTE, L. R.; DE NEGRI, F. Evolução recente dos indicadores de produtividade no Brasil. In: DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. Brasília: ABDI / IPEA, 2014.

CEFIS, E.; CICCARELLI, M. Profit Differentials and Innovation. **Economics of Innovation and New Technology**, v. 14, n. 1-2, pp. 43-61, 2005.

CERULLI, G.; POTI, B. Measuring intersectoral knowledge spillovers: an application of sensitivity analysis to Italy. **Economic Systems Research**, v. 21, n. 4, pp. 409-436, 2009.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997.

CHUN, H.; MUN, S. Determinants of R&D cooperation in small and medium-sized enterprises, **Small Business Economics**, Springer, v. 39, n. 2, pp. 419-436, 2012.

CIMOLI, M.; DOSI, G. Technological Paradigms, Patterns of Learning and Development: an introductory roadmap. **Journal of Evolutionary Economics**, 5: 243-268, 1995.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria. Competitividade Brasil 2012**: comparação com países selecionados. – Brasília: 2012. p. 114.

COHEN, W.M.; LEVINTHAL, D.A. Innovation and learning: Two faces of R&D. **Economic Journal**, v. 99. n. 397, pp.569-596, 1989.

COHEN, W.M.; LEVINTHAL, D.A. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. **The Economic Journal**, v.99, pp. 569-596, 1990.

COHEN, W. M.; KLEPPER, S. (1996), Firm Size and the Nature of Innovation within Industries: The Case of Process and Product R&D, **The Review of Economics & Statistics**, v. 78, pp. 232-43, 1996.

COLE, M.; ELLIOT, R.; SHIMAMOTO, K. Globalization, firm-level characteristics and environmental management: a study of Japan. **Ecological Economics**, n. 59, 2006.

COPELAND, B.R.; TAYLOR, M. S. Trade, Growth and the Environment, **Journal of Economic Literature**, v. 42, n. 1, pp. 7–71, 2004.

CORAZZA, R. I. Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. **RAE eletrônica**, v. 2, n. 2, p.1, 2003.

CRÉPON, B.; DUGUET, E.; MAIRESSE, J. Research, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level. **National Bureau of Economic Research** (Working Paper 6696), p. 44, 1998.

CRESPI, G.; ZUÑIGA, P. Innovation and Productivity: evidence from six Latin American countries. **IDB Working Paper Series**, Inter-American Development Bank, n. IDB-WP-218, 2010.

DAROIT, D.; NASCIMENTO, L. F. A Busca da Qualidade Ambiental como Incentivo à Produção de Inovações. EnANPAD, 2000.

DAVID, P. A. **Technical choice, innovation and economic growth**. Cambridge: University Press. 1975.

DAVID, P. A. Clio and the Economics of QWERTY, **American Economic Review**, v. 75, n.2, pp. 332-7, 1985.

DAVID, P.A. Standardization policies for network technologies: the flux between freedom and order revisited. In: HAWKINS, R.; MANSELL, R. & SKEA, J. (Ed.). **Standards, Innovation and Competitiveness: The Politics and Economics of Standards in Natural and Technical Environments**. Aldershot (England): Edward Elgar Publishing, pp. 15-35, 1995.

DAVID, P. A. **Path dependence, its critics and the quest for historical economics**. In: GARROUSTE, P.; IOANNIDES, S. (eds.). **Evolution and path dependence in economic ideas: past and present**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2000.

DE LA POTTERIE, B. V. P. Issues in Assessing the Effect of Interindustry R&D Spillovers. **Economic Systems Research**, v. 9, n. 4, 1997.

DE MARCHI, V. Environmental Innovation and R&D Cooperation: empirical evidence from Spanish manufacturing firms. **Research Policy**, pp. 614-623, 2012.

DE VRIES, P.; WITHAGEN, C. Innovation and environmental stringency: the case of Sulphur dioxide abatement. **Discussion Paper**, v. 18, Tilburg University, 2005.

DECHEZLEPRÊTRE, A.; MARTIN, R.; MOHNEN, M. Knowledge spillovers from low-carbon technologies: A patent citation analysis. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper 135, 2014.

DEL RIO, P.; MORÁN, M.A. T. E ALBIÑANA, F.C. Analysing The Determinants of Environmental Technology Investments. A Panel-data Study of Spanish industrial Sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, pp. 1170-1179, 2011.

DEMAJOROVICK, J. **Ecoeficiência em serviços: diminuindo impactos e aprimorando Benefícios ambientais**. In: JÚNIOR, Alcir Vilela; DEMAJOROVICK, Jacques (org.) *Modelo e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*. São Paulo: Editora Senac, 2006.

DIETZENBACHER, E.; LOS, B. Externalities of R&D Expenditures. **Economic Systems Research**, v. 14, n. 4, 2002.

DINIZ, F.; OLIVEIRA, L. F.; BARDY, M.; VISCO, N. **Módulo 2: Risco e Impacto Ambiental**. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Qualidade Industrial. p. 16. 2007.

DINIZ, M. J. T.; DINIZ, M. B.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N. A Introdução de Inovações Ambientais Afeta o Desempenho da Indústria? Um Estudo Empírico para o Pólo Industrial de Manaus (2000-2006). In: **V Encontro Nacional da ANPPAS**, 2010, Florianópolis. Anais do V Encontro Nacional da ANPPAS, 2010.

DORAN, J.; RYAN, G. Regulation na firm perception, Eco Innovation and firm performance. **MPRA Paper** n. 44578. 2012.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories – a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, pp. 147-162, 1982.

DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the patterns of industrial dynamics**. Londres: Macmillan. 1984.

DOSI, G. Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. **Journal of Economic Literature**, XXVI, pp. 1120-1171, 1988.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria de semicondutores**. Tradução de Carlos D. Szlak, Campinas: Editora da Unicamp, 2006, 464p.

DOSI, G.; PAVITT, K.; SOETE, L. **The economics of technical change and international trade**. London: Harvester Wheatsheaf. 1990.

DOSI, G.; SOETE, L. Technology Gaps and Cost-Based Adjustment: Some Explorations on the Determinants of International Competitiveness, **Metroeconomica**, v. 35, n.3, 1983.

ELSTER, J. Explaining Technical Change. A Case Study in the Philosophy of Science. **Cambridge University Press**, Cambridge, Mass, p. 273, 1983.

FABIANI S.; SBRAGIA, R. Tax incentives for technological business innovation in Brazil: the use of the good law (Law n. 11196/2005). **Journal of Technology Management & Innovation**, v. 9, p. 4, 2014.

FABRIZIO, K. R. Absorptive capacity and the search for innovation. *Research Policy*, v. 38, pp. 255–267, 2009.

FAGERBERG, J. Why Growth Rates Differ. In: DOSSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Eds.). **Technical change and economic theory**. Londres: Pinter Publishers, 1988.

FAI, F.; VON TUNZELMANN, N. Industry-specific competencies and converging technological systems: evidence from patents. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 12, n. 2, pp. 141–170, 2001.

FÉRES, J.; REYNAUD, A. Assessing the Impact of Formal and Informal Regulations on Environmental and Economic Performance of Brazilian Manufacturing Firms. **Environ. Resource Econ.**, v. 52, n.1, pp. 65-85, 2012.

FERRAZ, C.; SEROA DA MOTTA, R. Regulação, Mercado ou Pressão Social? Os determinantes do investimento ambiental na indústria. **Encontro Nacional de Economia**, 29, 2001, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia. 2001.

FLORIDA, R. Lean and green: the move to environmentally conscious manufacturing, **California Management Review**, v. 39, n. 1, pp. 80-105, 1996.

FONTES, J. C. **Desempenho Ambiental e Competitivo**: analisando o trade-off. Dissertação de Mestrado. Instituto de economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 113, 2012.

FREEMAN, C. **Technology Policy and Economic Performance**: Lesson from Japan, Pinter Publisher. 1987.

FREEMAN, R. E.; REED, D. L. Stockholders and stakeholders: a new perspective on corporate governance. **California Management Review**, California: ABI/Inform, v. 25, n. 3, pp. 88-92, 1983.

FRIEDMAN, M. The social responsibility of business is to increase its profits. **New York Times Magazine**, 1970.

FRITSCH, M.; FRANKE, G. Innovation, regional knowledge spillovers and R&D cooperation. **Research Policy**, v. 33, pp 245–255, 2004.

FRONDEL, M., HORBACH, J., RENNINGS, K. End-of-Pipe or Cleaner Production? An Empirical Comparison of Environmental Innovation Decisions Across OECD Countries. **Business Strategy and the Environment**, v. 16, n. 8, pp. 571–584, 2008.

FUNK, J.L. The co-evolution of technological change and methods of standard setting: the case of the mobile phone industry. **Journal of Evolutionary Economics**. v. 19, n. 1, p. 73-93, 2009.

FURTADO, A. *et. al.* **Capacitação tecnológica, competitividade e política industrial: uma abordagem setorial e por empresas líderes**. (Texto para discussão, n. 348). Brasília, Ipea, 1994.

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. London: Pitman Publishing, 1996.

GABEL, H. L., SINCLAIR-DESGAGNÉ, B. The Firm, Its Routines, and the Environment, **in The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1998/1999: A Survey of Current Issues**, edited by H. Folmer and T. Tietenberg. Cheltenham, UK: Edward Elgar. 1998.

GEROSKI, P.; GILBERT, R. J; JACQUEMIN, A. Barriers to entry and strategic competition. 1 ed. Nova Iorque, **Harwood Academic Publishers**, 1997.

GHISSETTI, C.; RENNINGS, K. Environmental innovations and profitability: how does it pay to be green? An empirical analysis on the German innovation survey, **Journal of Cleaner Production**, v. 75, pp. 106-117, 2014.

GILBERT, M.; CORDEY-HAYES, M. . Understanding the process of knowledge transfer to achieve successful technological innovation. **Technovation**, v. 16, n. 6, pp 301-312, 1996.

GONÇALVES, E.; SIMÕES, R. Padrões de esforço tecnológico da indústria brasileira: uma análise setorial a partir de técnicas multivariadas. **Revista Economia**, Brasília, v. 6, n. 2, pp. 391-433, 2005.

GREAKER, M. Strategic Environmental Policy: Eco-dumping or a Green Strategy? **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, n. 3, pp. 692–707, 2003.

GREENE, W. **Econometric Analysis**. New York, NY: Macmillan Publishing Co. 6th Ed. New Jersey: Practice Hall, 2003.

GRIFFITH, R.; HUERGO, E.; MAIRESSE, J.; PETERS, B. Innovation and productivity across four European countries. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 22, n. 4, pp. 483-498, 2006.

GRILICHES, Z. Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change. **Econometrica**, v. 25, n. 4, pp. 501-522, 1957.

GRILICHES, Z. Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth. **Bell Journal of Economics**, v. 10, n. 1, pp. 92-116, 1979.

GRILICHES, Z. Market Value, R&D and Patents, **Economic Letters**, v. 7, pp. 183-187, 1981.

GRILICHES, Z. The discovery of the residual: A historical note. *Journal of Economic Literature*, v. 34, n. 3, pp. 1324-1330, 1996.

GRUPP, H.; SCHMOCH, U., 1999. Patent statistics in the age of globalisation: new legal procedures, new analytical methods, new economic interpretation. **Research Policy**, v. 28, pp. 377–396, 1999.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. McGraw-Hill, 2010.

HALL, B. H. **Innovation and diffusion**. NBER, Working Paper, 10.212, 2004.

HALL, B.; ORIANI, R. **Does the Market Value R&D Investment by European Firms?** Evidence from a Panel of Manufacturing Firms in France, Germany, and Italy, NBER working paper 10408, 2004.

HAWKINS, R.W. Introduction: Addressing the Problématique of standards and standardization. In: HAWKINS, R.; MANSELL, R. & SKEA, J. (Ed.). **Standards, Innovation and Competitiveness: The Politics and Economics of Standards in Natural and Technical Environments**. Aldershot (England): Edward Elgar Publishing, pp. 1-6, 1995.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. **Agricultural development: an international perspective**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, p.506, 1985.

HECKMAN, J. J. Sample selection bias as a specification error. **Econometrica**, v. 47, n. 1, p. 153-161, 1979.

HICKS, J. R. **Theory of Wages**. London: Macmillan, p. 247, 1932.

HORBACH, J. Determinants of Environmental Innovation – New Evidence from German Panel Data Sources. **FEEM Working Paper**, n. 13, 2006.

HORBACH, J., Determinants of Environmental Innovation - New Evidence from German Panel Data Sources, **Research Policy**, v.37, n. 1, pp.163-173. 2008.

HORBACH, J.; RENNINGS, K. Environmental innovation and employment dynamics in different technology fields – an analysis based on the German Community Innovation Survey 2009. ZEW Discussion Paper No. 12-006, **Centre for European Economic Research**, Mannheim, Germany, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/atividades/conceitos>> Acessado em: julho de 2016.

JAFFE, A. B. Real effects of academic research. **The American Economic Review**, v. 79, n.5, pp. 957-970. 1989.

JAFFE, A. B.; PALMER, K. Environmental Regulation and Innovation: A Panel Data Study, **The Review of Economics and Statistics**, v. 79, n. 4, pp. 610-619, 1997.

KANNEBLEY JÚNIOR, S.; PORTO, G. S.; PAZELLO, E. T. Inovação na indústria brasileira: uma análise exploratória a partir da Pintec. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 3, n. 1, p. 87-128, 2004.

KEMP, R.; ANDERSEN, M. M. **Strategies for eco-efficiency innovation. Strategy paper for the Informal Environmental Council Meeting**. Maastricht, Holanda, 2004.

KEMP, R.; FOXON, T. **Typology of eco-innovation**. Maastricht, MEI (Measuring Eco-Innovation), 2007.

KEMP, R.; PEARSON, P. Final report MEI project about measuring eco-innovation: Deliverable 15 of MEI project (D15). **Project Report**. 2008.

KEMP, R.; SOETE, L. The Greening of Technological Progress: an evolutionary perspective. **Futures**, v. 24, n. 5, pp. 437-457, 1992.

KENNEDY, P. Innovation stochastique et coût de la réglementation environnementale, **L'Actualité économique**, v. 70, n. 2, pp. 199–209, 1994.

KLEINKNECHT, A.; VERSPAGEN, B. R&D and market structure: the impact of measurement and aggregation problems. **Small Business Economics**, v. 1, n. 4, 1989.

KLEINKNECHT, A., POOT, T. E.; REILJNEN, J. O. N. **Technical performance and firm size: survey results from the Netherlands**. In: ACS, Z. J. & AUDRETSCH, D. B. (eds.), *Innovation and technological change: an international comparison*. Ann Arbor, MI, University of Michigan Press. 1991.

KUEHR, R. Environmental technologies: from a misleading interpretations to an operational categorization and definition. **Journal of Cleaner Production**, 2007.

LA ROVERE, R. L. **Paradigmas e trajetórias tecnológicas**. In: PELAEZ, V.; SZMRECSÁYI, T. *Economia da Inovação Tecnológica*. São Paulo: HUCITEC, 2006.

LANOIE, P.; LAURENT-LUCCHETI, J.; JOHNSTONE, N.; AMBER, S. Environmental Policy, innovation and performance: New insights on Porter hypothesis. **Journal of Economics and Management Strategy**, v. 20, n. 3, pp. 803-842, 2011.

LANZI, E.; HASCIC, I.; JOHNSTONE, N. The determinants of invention in electricity generation technologies: a patent data analysis. **OECD Environment Working Papers**, n. 45, 2012.

LEEUWEN, G.; MOHNEN, P. Revisiting the porter hypothesis: An empirical analysis of green innovation for the Netherlands, **MERIT Working Papers** 002, United Nations University - Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT). 2013.

LEMOS, C. Inovação na era do conhecimento. *Parcerias Estratégicas*, n. 8, 2000.

LÖÖF, H. Multinational enterprises and innovation: firm level evidence on spillover via R&D collaboration. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 19, n. 1, pp. 41–71, 2009.

LOS, B.; VERSPAGEN, B. R&D spillovers and productivity: evidence from the US manufacturing microdata. **Empirical Economics**, v. 25, pp. 127–148, 2000.

LUCCHESI, A.; COLE, M. A.; ELLIOT, J. R. R.; MENEZES-FILHO, N. A. Determinants of Environmental Innovation in Brazilian Manufacturing Industries. In: **Encontro Nacional de Economia – ANPEC**, Natal, p. 19, 2014.

LUSTOSA, M. C. **Meio Ambiente, Inovação e Competitividade na Indústria Brasileira: A Cadeia Produtiva do Petróleo**. Tese de doutorado. Instituto de Economia, UFRJ, p. 246, 2002.

MACHADO, G. C.; OLIVEIRA, C. A. Programas de Transferência de Renda e Trabalho Infantil no Rio Grande do Sul. **Economic Analysis of Law Review**, v. 5, n. 1, pp. 99-117, 2014.

MACULAN, A. M. **A importância das interações para a inovação e a busca por indicadores**. In: CGEE (Orgs.). Bases conceituais em pesquisa, desenvolvimento e inovação: implicações políticas no Brasil. 1ª ed. Brasília: Centro de Gestões e Estudos Estratégicos, v. 1, pp. 165-186, 2010.

MAIRESSE, J.; MOHNEN, P. **R&D and Productivity: A Reexamination in Light of the Innovation Surveys**. DRUID Summer Conference, Copenhagen, 2003.

MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. **The Economic Journal**, v.102, n.413, p.845-859, 1992.

MANSFIELD, E.; Contributions of new technology to the economy, **Technology, R&D and the Economy**, ed. Bruce Smith e Claude Barfield. P. 125 The Brookings Institutions, Washington, DC, 1996.

MARIN, G. Do Eco-innovations harm productivity growth through crowding out? Results on an extended CDM model for Italy. **IMT Lucca EIC working paper** series 03, 2014.

MARTA, F. S.; CARVALHO, P. G. M.; SILVA, D. B.; BARCELLOS, F. C. Determinantes do valor do investimento em controle ambiental das indústrias brasileiras. **IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, 2011.

MAZZANTI, M.; ZOBOLI, R. Examining the Factors Influencing Environmental Innovations. **FEEM Working Paper**, n. 20, 2006.

MCTI/CGEE. Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável – Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia/Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

MEYER, M. Does science push technology? Patents citing scientific literature. **Research Policy**, v. 29, n. 3, p. 409-434, 2000.

MOHNEN, P. Introduction: Input-Output Analysis of Interindustry R&D Spillovers. **Economic Systems Research**, v. 9, n. 1, 1997.

MOHR, R. D.; SAHA, S. Distribution of Environmental Costs and Benefits, Additional Distortions and the Porter Hypothesis, **Land Economics**, v. 84, n. 4, pp. 689–700, 2008.

NATIONAL STRATEGIES FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – NSSD. **Sustainable Development: Concepts and Approaches**, 2003. Disponível em: <<http://www.nssd.net/references/SustDev.htm>> Acesso em: outubro de 2016.

NELSON, R. R. The single economics of basic scientific research, **Journal of Political Economy**, v. 67, n. 3, pp. 297-306. 1959.

NELSON, R. e WINTER, S. In search of a usefull theory of innovations. *Research Policy*, v. 6, n.1, 1977.

NELSON, R.; WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Harvard University, 1982.

NEMET, G. **Demand-pull energy technology policies, diffusion and improvements in California Wind Power**. In Foxon, T. J., Kohler, J. and Ougton, C. (eds) *Innovation for a Low Carbon Economy. Economic, Institutional and Management Approaches*, Edwards Elgar, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA. 2009.

OATES, W.E.; PALMER, K.; PORTNEY, P.R. Environmental regulation and international competitiveness: thinking about the Porter hypothesis. **Resources for the Future**, Washington, 1993.

OLIVEIRA, C. A.; CARVALHO, F. P.; DUTRA, H. D. Eco-Inovações em Empresas Brasileiras: Determinantes e Resultados. In: **XXVII Simpósio de Gestão da Inovação tecnológica**, Salvador/BA, novembro de 2012.

OLTRA, V. Environmental Innovation and Industrial Dynamics: the contributions of evolutionary economics. **DIME Working Papers on Environmental Innovation**, n. 7, 2008.

OOSTERHUIS, F. Innovation dynamics induced by environmental policy: Final report. **Intitute of Environmental Studies Vrije Universiteit**. Amsterdã, 2006.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **OECD Science, Technology and Industry Outlook**. Paris: OECD Publishing, 2010.

OSLO Manual: **guidelines for collecting and interpreting innovation data**. 3. ed. Paris: Organization for Economic Co-Operation and Development - OECD: Statistical Office of the European Communities -Eurostat, p. 163, 2005.

OZUSAGLAM, S. Environmental innovation: a concise review of the literature. **Vie & sciences de l'entreprise**, n. 191 - 192, pp. 15-38, 2012.

PAGE, S. E. Path dependence. **Quarterly Journal of Political Science**, n.1, p.87-115, 2006.

PAVITT, K. Sectorial Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984.

PETERS, M.; SCHNEIDER, M.; GRIESSHABER, T.; HOFFMANN, V. H. The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change – does the locus of policies matter? **Policy Research**, 2012.

PINTEC. **Pesquisa de Inovação Tecnológica** 2000, 2003, 2005, 2008 e 2011. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2015.

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **A Produção mais Limpa e o Consumo Sustentável na América Latina e Caribe**. São Paulo: Governo do Estado de São, 2005.

PODCAMENI, M. G. B. **Meio ambiente, inovação e competitividade**: uma análise da indústria de transformação brasileira com ênfase no setor de combustível. Dissertação de mestrado, Instituto de economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 130, 2007.

PODCAMENI, M. G.; QUEIROZ, J. M. Estratégia inovativa das firmas brasileiras: convergência ou divergência com as questões ambientais? **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas (SP), v. 13, n. 1, p. 187-224, 2014.

POOP, D. Uncertain R&D and the Porter Hypothesis, **The B.E. Journal of Economic Analysis & Policy**, 2005.

POOP, D., HAFNER T.; JOHNSTONE, N. Policy vs. Consumer Pressure: Innovation and Diffusion of Alternative Bleaching Technologies in the Pulp Industry, NBER Working Papers, n°13439, **National Bureau of Economic Research**, Inc. 2007.

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. The link between competitive advantage and corporate social responsibility. **Harvard Business Review**, v. 84, n. 12, pp. 78-92, 2006.

PORTER, M. E.; LINDE, C. V. Der. Toward a New Conception of the Environment - Competitiveness Relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, pp. 97- 118, 1995.

REHFELD, K.-M.; RENNINGS, K.; ZIEGLER, A. Integrated product policy and environmental product innovations: an empirical analysis. **Ecological Economics**, v. 61, n. 1, p. 91-100, 2007.

RENNINGS, K. Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological Economics**, v. 32, n. 1, pp. 319-332, 2000.

RENNINGS K., FRONDEL, M. & HORBACH, J. What triggers environmental management and innovation? Empirical evidence for Germany. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 66, n. 1, pp 153-160, 2008.

RENNINGS, K.; ZWICK T. Employment Impacts of Cleaner Production. Heidelberg, ZEW Economic Studies, Ed. 21, 2003.

REXHÄUSER, S.; RAMMER, C. Unmasking the Porter hypothesis: Environmental innovations and firm-profitability. **ZEW Discussion Paper** n. 11- 036. ZEW (Centre for European Economic Research), Mannheim, Germany. 2011.

ROGERS, M. Networks, firm size, and innovation. **Small Business Economics**, v. 22, pp. 141-153. 2004.

ROSENBERG, N. The direction of technological change. Inducement mechanisms and focusing devices. **Economic Development and Cultural Change**, v.18, n.1, p.1-24, 1969.

ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa preta**. Campinas: Editora da Unicamp. 2006. (Coleção Clássicos da Inovação), 1983.

SALLES FILHO, S. L. M. **Mudanças no padrão tecnológico da agricultura**: uma perspectiva para o final do século. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 31, Ilhéus, 1993. Anais. Brasília: Sober. p. 86-100, 1993.

SALLES FILHO, S. L. M., SILVEIRA, J. M. F. J. da. **A teoria da inovação induzida e os modelos de “demand-pull”**: uma crítica com base no enfoque neoschumpeteriano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIARURAL, 28, Florianópolis. Anais... Brasília: Sober, pp. 41-60, 1990.

SALM, C., SABÓIA, J., CARVALHO, P. G. M. de. Produtividade na indústria brasileira: questões metodológicas e novas evidências empíricas. **Pesquisa Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro-RJ, v. 27, n. 2, pp. 377-396, 1997.

SALTER W. E.G., Productivity and Technical Change, 2nd edition, **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom, 1960.

SARTORI, A. An estimator for some binary-outcome selection models without exclusion restrictions. **Political Analysis**, v. 11, p. 111–138, 2003.

SCHERER, F. M. **Innovation and growth**: schumpeterian perspective. London: Massachusetts Institute of technology, 1986.

SCHMOOKLER, J. Economic sources of inventive activity. **Journal of Economic History**, v. 22, n. 1, pp. 1–20, 1962.

SCHMOOKLER, J. **Invention and economic growth**. Harvard: Harvard University Press, 1966.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SCOTT, J. T. **Environmental Research and Development**: US Industrial Research, the Clean Air Act and Environmental Damage. Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, 2003.

SEIFFERT, M. E. **Gestão Ambiental**: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. São Paulo: Atlas, 2007.

SEROA DA MOTTA, R. Analyzing the Environmental Performance of the Brazilian Industrial Sector. **Ecological Economics**, v. 57, n. 2, pp. 269-281, 2006.

SHEPHERD, W. G. The Elements of market structure. **The Review of Economics and Statistics**, 1972.

SHIH, H.; CHANG, T. S. International diffusion of embodied and disembodied technology: A network analysis approach. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 76, pp. 821–834, 2009.

SILVA, A. R. A.; GONÇALVES, E.; PEROBELLI, F. S. **Transbordamentos, P&D e produtividade total dos fatores no Brasil: uma avaliação do período 1990-2005**. In: Encontro Nacional de Economia, 2010, SALVADOR. XXXVIII encontro nacional de economia. Brasília: ANPEC, 2010.

SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovation, Diversity and Diffusion: a self-organization model, **The Economic Journal**, v. 38, n. 393, 1988.

SIMPSON, D.; BRADFORD, R. L. Taxing Variable Cost: Environmental Regulation as Industrial Policy, **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 30, n. 3, pp. 282–300, 1996.

SOLTMANN, C.; STUCKI, T.; WOERTER, M. The performance effect of environmental innovations. **KOF Working Papers**, n. 330, KOF Swiss Economic Institute, ETH Zurich. 2013.

SONG, J.; ALMEIDA, P.; WU, G. Learning-by-hiring: when is mobility more likely to facilitate interfirm knowledge transfer? *Management Science*, vol. 49, n 4, pp. 351–365, 2003.

SPEIRS, J.; PEARSON, P.; FOXON, T. Adapting Innovation Systems Indicators to assess Eco-Innovation. **DIME International Conference “Innovation, sustainability and policy”**, GREThA, University Montesquieu Bordeaux IV, France, pp. 11-13, 2008.

TAYLOR, M. R.; RUBIN, E. S.; NEMET, G. F. The Role of Technological Innovation in Meeting California’s Greenhouse Gas Emission Targets. Chapter Three in Hanemann, M. and A. Farrell (eds.), *Managing Greenhouse Gases in California*, Report prepared for the Energy Foundation and the Hewlett Foundation, 2006.

TIGRE, P. B. Inovação e teorias da firma em três paradigmas. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 2, n. 3, pp. 67-111. 1998.

TIGRE, P. B. Paradigmas tecnológicos e teorias econômicas da firma. **Revista Brasileira de Inovação**, v.4, n. 1, p. 35. 2005.

UNCTAD – UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **World investment report 2006**. FDI from developing and transition economies: implications for development. New York; Geneva: United Nations, 2006.

UNITED NATIONS. Earth Summit Agenda 21. United Conference on Environment and Development – UNCED. Rio de Janeiro, 1992.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: ISO 14000**. 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: SENAC São Paulo, 2002.

VERBEEK, M. **A guide to modern econometrics**. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. p. 384.

VERSPAGEN, B. Measuring intersectoral technology spillovers: estimates from the European and US patent office databases. **Economic Systems Research**, v. 9, pp 47–62, 1997.

VINHA, V. **A convenção do desenvolvimento sustentável e as empresas eco-comprometidas**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade). Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999.

XEPAPADEAS, A.; ZEEUW, A. Environmental Policy and Competitiveness: The Porter Hypothesis and the Composition of Capital, **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 37, pp. 165–182, 1999.

WAGNER, M. Empirical influence of environmental management on innovation: Evidence from Europe. **Ecological Economics**, v. 66, pp. 392-402, 2009.

WALRAS, L. **Compêndio dos elementos de economia política pura**. Tradução: João Guilherme Vargas Netto. São Paulo: Abril Cultural, Série: Os Economistas, 1983.

WOOLDRIDGE, J. **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge: MIT Press, 2002.

YOUNG, C. E. F. Sustentabilidade e Competitividade: O papel das empresas. **Revista de Economia Mackenzie**, v.5, n.5, p.87-101, 2007.

YOUNG, C. E. F.; LUSTOSA, M. C. J. Meio Ambiente e Competitividade na Indústria Brasileira. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 5, Edição Especial, Rio de Janeiro: IE/UFRJ, pp. 231-259, 2001.

APÊNDICE

Tabela A1 – Estimações: Inovação Ambiental restrita e Inovação Convencional – *Probit* Bivariado

Variáveis	Decisão de Inovação Ambiental ampla	Decisão de Inovação Convencional	y = Pr[IA restrita=1]	y = Pr[IC=1]	y = Pr[IA restrita=1 IC=1]	y = Pr[IC=1 IA restrita=1]	y=Pr[Não IA=0 e IC=0]	y=Pr[Apenas IA restrita=1 e IC=0]	y=Pr[Apenas IC=1 e IA=0]	y=Pr[IA restrita=1 e IC=1]
<i>lnG</i>	0,035*** (0,0036)	0,041*** (0,006)	0,005*** (0,0006)	0,011*** (0,001)	0,002** (0,001)	0,003*** (0,0003)	-0,0004 (0,006)	0,005*** (0,001)	0,006*** (0,002)	0,011*** (0,001)
<i>lnPO</i>	0,072*** (0,006)	0,052*** (0,008)	0,006*** (0,0009)	0,021*** (0,002)	0,003 (0,001)	0,007* (0,0003)	-0,006*** (0,0009)	0,004** (0,002)	0,015*** (0,005)	0,021*** (0,002)
<i>REG</i>	0,755** (0,013)	0,890*** (0,029)	0,224** (0,003)	0,097*** (0,003)	0,258*** (0,045)	0,005*** (0,0008)	-0,097*** (0,003)	0,127*** (0,005)	0,001*** (0,0001)	0,254*** (0,004)
<i>Coop</i>	0,182*** (0,016)	-0,071*** (0,028)	0,054*** (0,004)	0,007*** (0,003)	0,045*** (0,005)	-0,004 (0,001)	0,006*** (0,003)	0,061*** (0,005)	0,001*** (0,0002)	0,045*** (0,006)
<i>Ap_Gov</i>	0,099*** (0,023)	0,071* (0,044)	0,029*** (0,007)	0,008* (0,004)	0,043*** (0,008)	-0,0004 (0,001)	-0,008* (0,005)	0,022*** (0,008)	0,005*** (0,0002)	0,043*** (0,008)
<i>Infcad</i>	0,420*** (0,020)	0,069** (0,032)	0,009*** (0,003)	0,069** (0,032)	0,058*** (0,007)	0,074*** (0,004)	0,008*** (0,003)	0,001*** (0,006)	0,116*** (0,0002)	0,091*** (0,007)
<i>Média-baixa</i>	-0,029* (0,017)	-0,177*** (0,025)	-0,029* (0,017)	-0,177*** (0,025)			-	-	-	-
<i>Média-alta</i>	-0,099*** (0,018)	-0,099*** (0,027)	-0,099*** (0,018)	-0,099*** (0,027)			-	-	-	-
<i>Alta</i>	-0,144*** (0,024)	-0,076** (0,035)	0,144*** (0,024)	0,076** (0,035)			-	-	-	-
<i>Athp</i>	0,505***									
<i>ρ</i>	0,466***									
<i>Nº de Obs.</i>	45982									

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: *** significativo a 1%, ** significativo a 5% e * significativo a 10%. Os erros-padrão são robustos e se encontram entre parênteses. As *dummies* de localização das regiões geográficas foram incluídas nas equações e não estão reportadas, bem como as constantes.

