

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

MAYRA BEZERRA RODRIGUES

**SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA OS EFEITOS DA
REGULAÇÃO AMBIENTAL SOBRE O CRESCIMENTO E A
DINÂMICA INDUSTRIAL: UMA ABORDAGEM
EVOLUCIONÁRIA**

JOÃO PESSOA
2009

MAYRA BEZERRA RODRIGUES

**SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA OS EFEITOS DA
REGULAÇÃO AMBIENTAL SOBRE O CRESCIMENTO E A
DINÂMICA INDUSTRIAL: UMA ABORDAGEM
EVOLUCIONÁRIA**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando de M. B. Cavalcanti Filho.

Área de Concentração: Economia da Empresa

JOÃO PESSOA
2009

MAYRA BEZERRA RODRIGUES

**SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA OS EFEITOS DA
REGULAÇÃO AMBIENTAL SOBRE O CRESCIMENTO E A
DINÂMICA INDUSTRIAL: UMA ABORDAGEM
EVOLUCIONÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Economia.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Fernando de Moura Bezerra Cavalcanti Filho
(Orientador – UFPB)

Prof. Dra. Maria Cecília J. Lustosa
(Examinador externo – UFAL)

Prof. Dra. Márcia Batista da Fonseca
(Examinador interno – UFPB)

JOÃO PESSOA
2009

**Dedico à minha mãe,
que me ensinou a plantar, esperar e colher.
E, se não der certo, tentar novamente.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço de antemão ao meu orientador Prof. Paulo Fernando, cujos ensinamentos foram essenciais ao desenvolvimento deste trabalho. Atenção também é merecida a todo o corpo docente do curso de economia da UFPB, bem como seus funcionários, mas com um carinho especial à Teresinha e Risomar.

Agradeço também as minhas grandes amigas Alessandra e Patrícia, que além de ter participado diretamente de umas das etapas árduas de se trabalhar com base de dados, estiveram presentes me oferecendo apoio e carinho durante grande parte da minha vida. E principalmente, agradeço enormemente à Santiago, que me presenteou com uma “super mega macro do futuro” e que sem ela a conclusão desse trabalho não seria possível. Atribuo também grande parte dos meus agradecimentos à Ariela, que esteve comigo, sorrindo e chorando, desde a conclusão da graduação em economia.

Por fim, sinto-me grata pela minha família, especialmente Dendenda e Painho, que estiveram presentes e me deram todo o apoio necessário nos momentos difíceis.

RESUMO

Este trabalho traz uma abordagem evolucionária para a discussão da problemática ambiental, propondo uma visão não concorrente (como realizada pela teoria convencional) entre economia e meio ambiente. Sugere-se a integração da variável ambiental como estratégia competitiva das firmas. Através do método de simulação computacional verificaram-se a eficácia de três tipos de políticas, todas diferentes quanto ao seu grau de restrição, quais sejam: um imposto ambiental, um subsídio à P&D “verde”, e um programa de educação ambiental que se traduz no mercado como uma preferência do consumidor à um produto ecológico. Foram simulados nove tipos de combinações derivados dessas políticas, com diferentes valores de parâmetros, a fim de se testar a sensibilidade das variáveis econômicas à estas políticas. Assim, objetivou-se averiguar qual tipo de política gera o melhor resultado ambiental, e suas conseqüências para a dinâmica industrial. Como principal conclusão, encontrou-se que o resultado da política ambiental depende do seu grau de restrição, corroborando com o que Porter chama de “boa regulamentação”.

Palavras chave: Inovação Ambiental. Política Ambiental. Dinâmica Industrial.

ABSTRACT

This research brings an evolutionary approach about the environment's current situation. Is a new proposed point of view, without competition between economy and the environment (as the conventional theory does). The ecology should be in the competitive strategies of the firm. Through computational simulation method was investigated the effectiveness of three types of policies, all different about their restrictiveness degree. Such policies are: an ecological tribute, a subsidy to "green" R&D, and a program for environmental education that means, in the market, a consumer's preference for ecology. Were simulated nine types of policies combinations, with different values for the parameters, with the objective to test the economics variables' sensibility. Hence, the main purpose is to find the best policy for the environment and its consequences for the industrial dynamic. The most important conclusion is that the success of an environmental policy depends on its restriction, as Porter has supposed.

Word keys: Environmental Innovation. Environmental Policy. Industrial Dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Escolha de tecnologias ambientais em sete países da OECD (em %)	31
Figura 2	Nível ótimo de poluição	43
Figura 3	Representação da cadeia de relações	83
Figura 4	Organograma da influência da política ambiental sobre as decisões da firma	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Incentivos e barreiras à inovação	59
----------	---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Indicador ambiental	91
Gráfico 2	Produção total do setor B	92
Gráfico 3	Produtividade média do setor B (tau)	93
Gráfico 4	Emprego total da economia	94
Gráfico 5	Salário real	95
Gráfico 6	Receita do governo	96
Gráfico 7	Gasto do governo	97
Gráfico 8	Dívida do governo	97

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO 1	16
1 INOVAÇÃO, MEIO AMBIENTE E COMPETITIVIDADE	17
1.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2 A TEORIA EVOLUCIONÁRIA	20
1.2.1 Inovação	22
1.2.1.1 O papel da Instituição	26
1.2.2 Eco-Inovação, Eco-Eficiência e Inovação Ambiental	27
1.2.2.1 Eco-eficiência	31
1.2.3 A oferta e demanda por tecnologia limpa e a necessidade da regulamentação	32
1.3 HIPÓTESE DE PORTER	35
1.3.1 Uma “boa” regulamentação ambiental	36
1.4 POLÍTICAS AMBIENTAIS: COMANDO E CONTROLE E INSTRUMENTOS ECONÔMICOS	39
1.4.1 A solução de Pigou	42
1.4.1.1 Incentivos perversos	44
CAPÍTULO 2	46
2 TRABALHOS RELACIONADOS	47
2.1 POLÍTICA AMBIENTAL E INOVAÇÃO	48
2.1.1 Modelos teóricos de incentivos	48
2.1.2 Estudos econométricos	51
2.1.3 Estudos de caso de eco-inovação e surveys.....	54
2.2 METODOLOGIAS DE MODELAGENS: CONVENCIONAL E HETERODOXA	64
CAPÍTULO 3	67
3 O MODELO MKS	68
3.1 PROPRIEDADES FORMAIS DO MKS	69
3.1.1 Simulação computacional	69
3.1.2 Modelo multisetorial	71
3.1.3 Processos auto-organizativos	72
3.2 FORMALIZAÇÃO DO MODELO	73
3.3 O MKS “VERDE”	80
CAPÍTULO 4	88
4 RESULTADOS	89
4.1 IMPACTO AGREGADO	90

4.2	IMPACTO NO SETOR PÚBLICO	96
4.3	ANÁLISE MICROECONÔMICA	98
	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICES	113

INTRODUÇÃO

Pensar a questão ambiental hoje, em consonância com o desafio com o qual a sociedade se depara, constitui-se em dissociar a relação existente entre preservação ambiental e custos financeiros. Sejam esses custos decorrentes do capital empregado para a preservação ambiental, ou decorrente da renúncia à exploração de um determinado recurso natural. Pode-se esquecer também, a idéia igual disseminada, de que preservação ambiental implica um prolongamento da capacidade do planeta de ofertar recursos (renováveis ou não-renováveis). Isso significa dizer que, hipoteticamente falando, se todos os indivíduos adotassem uma postura pró-ativa no quesito preservação ambiental, mesmo assim não haveria uma melhoria ambiental agregada.

A variável ambiental deve ser encarada como uma oportunidade de negócio, no mais estrito significado do termo. O conhecido caso do refino da cana-de-açúcar é um exemplo bastante ilustrativo, como dito por Sachs (1998) sugerindo um programa pró-cana (em vez de pró-álcool). O bagaço e o vinhoto, considerados por muito tempo resíduos do processamento da cana e sem utilidade conhecida, podem torna-se energia, utilizados na produção de papel e ração animal (caso do bagaço), ou adubo (vinhoto).

Há uma infinidade de recursos pouco explorados, ou pouco valorizados, mas com grandes possibilidades de serem valorizados economicamente se direcionados à um uso adequado.

Não podemos esquecer que o conceito de recursos está condicionado a variáveis históricas, culturais e ao próprio desenvolvimento tecnológico. Os recursos naturais não são dados constantes, uma vez por todas. O recurso é um fragmento do meio ambiente. Num dado momento da História os conhecimentos técnicos permitem dele uma utilização socialmente útil. É recurso hoje o que não foi recurso ontem. Poderá ser recurso amanhã o que não foi percebido hoje enquanto recurso (SACHS, 1998)

Esta visão de meio-ambiente como estratégia competitiva das firmas encontra um vasto campo de trabalho no escopo da teoria evolucionária. As soluções para os problemas ambientais entram no processo de busca da firma por inovação. Em um mundo dinâmico as inovações são dependentes do tempo, e as soluções encontradas para um problema em um determinado período podem ser a causa dos problemas dos períodos seguintes.

Dessa forma, é preciso pensar política ambiental como principal indicador da trajetória que a firma deve seguir. Forma-se com isso um sistema moldado para influenciar o processo inovativo.

Esta dissertação entra então no debate sobre os efeitos dinâmicos dos instrumentos de política. Procura-se contribuir com o entendimento do impacto que a regulamentação ambiental tem sobre o comportamento inovador, a partir da hipótese do *first-mover*.

Considerando a multiplicidade de trajetórias tecnológicas que os agentes podem seguir (inovação ambiental sendo uma delas), busca-se caracterizar esse universo, via simulação computacional. Assim, constitui-se como objetivo geral identificar que formas de regulação produzem os melhores e os piores resultados no aspecto ambiental, social e econômico.

Trabalha-se com o modelo MKS construído por Cavalcanti Filho (2002). O MKS é um modelo micro-macro dinâmico formado por quatro setores industriais (bens de consumo básico, bens de consumo supérfluos, bens de capital e matérias-primas), um governo, e uma bolsa de valores. Toda a discussão de impacto ambiental no modelo gira em torno da geração de resíduos decorrente da atividade industrial e do consumo. Contudo, para facilitar a análise, supõe-se que, no setor industrial, apenas a indústria de bens de consumo básico¹ gera resíduos. Além dos resíduos provenientes do consumo dos indivíduos.

Simulou-se três tipos de política, que por ordem decrescente de restrição são: um imposto ambiental baseado no princípio do poluidor/usuário pagador; um subsídio para P&D em tecnologia ambiental; e por fim uma política de educação ambiental. Esta última se configura o caso mais moderado das políticas já que não incide diretamente sobre a firma. Todas essas políticas têm o objetivo comum de reduzir a geração de resíduos das firmas, fazendo-se uso de diferentes tipos de incentivos.

Para a solução da questão principal do trabalho, cumpriram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizou-se uma vasta revisão de literatura sobre política ambiental e inovação ambiental;
- b) A partir da formalização das políticas acima citadas, criou-se diferentes tipos de incentivo à inovação (financeiro e econômico) que conduzissem à firma a uma solução do tipo *pollution prevention*, para uma análise sobre *ecoeficiência* no modelo evolucionário micro-macroeconômico multissetorial, investigando efeitos de curto e longo prazo e as vantagens ambientais.

¹ O setor de bens de consumo básico é o maior dessa economia, com o maior número de empresas e maior receita. Uma regulamentação incidente apenas sobre esse setor tem um impacto em toda a economia, porque é o único setor que possui demanda de todos os demais setores e agentes dessa economia. Assim, isolá-lo como único objeto da política ambiental, em um exercício de simulação, não se constitui um obstáculo à análise do impacto ambiental e do comportamento inovador.

- c) Construiu-se um indicador ambiental cujo comportamento possibilita a análise do impacto agregado da economia sobre o meio ambiente em um experimento teórico.

A singularidade teórica dessa modelagem ampara-se na ruptura com os modelos tradicionais de competição oligopolista que têm como parâmetros de concorrência apenas as estratégias de preço ou de oferta. A competitividade da firma é um parâmetro seletivo que incorpora um conjunto de características operacionais (comportamentais) e técnicas das firmas (e/ou de seus produtos).

Este trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos, além desta introdução. O primeiro traz uma breve contextualização histórica e o referencial teórico, tratando inovação a partir de uma abordagem evolucionária. Discute-se os conceitos de inovação ambiental, tecnologia limpa e eco-eficiência, além da apresentação da hipótese de Porter e seu conceito de uma “boa regulamentação”, juntamente com a descrição dos diversos tipos de política existentes.

O segundo capítulo relata os trabalhos relacionados, indicando a metodologia e as conclusões dos principais trabalhos na área. Mostra-se que o horizonte de pesquisa situa-se na discussão sobre as características do ambiente econômico e tipos de políticas que se constituem mais indicadas para induzir à firma à gerar uma inovação ambiental. Foram descritos trabalhos econométricos e estudos de casos, alguns afirmando que o grau de restrição da política está diretamente relacionado ao seu sucesso no processo inovativo da firma, outros alegando que políticas mais maleáveis (como incentivos de mercado) é que suscitam os melhores resultados. Este capítulo traz ainda trabalhos que trataram a problemática ambiental através da utilização de simulações computacionais, mostrando as divergências e convergências com o método realizado aqui.

O terceiro capítulo descreve o modelo MKS original e sua dinâmica industrial, trazendo suas principais características. Em conseqüente, apresenta-se o MKS “verde”, e como este modifica a proposta do modelo original para que este se adequasse ao debate ambiental.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados das simulações computacionais, dividindo-se em: a) impacto agregado, analisando o comportamento do indicador ambiental e das variáveis agregadas da economia (Produto industrial, salário real, emprego, e produtividade média); b) análise microeconômica. Por último apresentam-se as conclusões.

CAPÍTULO 1

1 INOVAÇÃO, MEIO AMBIENTE E COMPETITIVIDADE

1.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO

A sociedade atual vem caminhando para um estilo de vida cada dia mais insustentável. O agravamento do adensamento populacional provocado pelo êxodo rural iniciado no século XX, aliado ao modo de produção em massa e ao culto ao consumo ilimitado, ignorando a limitação dos recursos naturais do planeta, levou à crise ambiental com a qual o mundo se depara. Para compreender este processo de destruição das condições de reprodução da vida (humana e dos demais seres vivos) se faz necessário um retorno ao método do pensamento filosófico clássico forjado na Grécia, em que os diferentes aspectos da realidade eram tratados de forma coesa, interpretados como um todo complexo, mas que se manifestava de formas variadas.

Embora a filosofia ocidental seja herdeira do pensamento Grego-romano, o pensamento ocidental, desde a Idade Média, é comandado pelo paradigma da separação, da particularização, separando-se as disciplinas, as ciências e as técnicas. Considerando que o conceito de meio-ambiente não se confunde com a natureza ou seus elementos físicos, é necessário tratar a questão ambiental sob uma perspectiva ampliada e holística, pois o meio ambiente é formado de relações de dimensões sociais, econômicas, urbanas e naturais nas quais vivem pessoas e demais seres. Assim, para uma melhor compreensão da questão ambiental é preciso abandonar esse paradigma clássico, que guiou e ainda guia o pensamento da sociedade contemporânea.

A questão ambiental necessita de uma solução multidisciplinar englobando diversas áreas do conhecimento como:

- a) a biologia, em seu aspecto de conceituação da natureza e caracterização de seu comportamento,
- b) o direito, em seu aspecto institucional na concepção de leis sinalizadoras da sociedade, e
- c) a economia, enquanto estudo comportamental de todos os agentes da sociedade.

Desde 1972 vários países do mundo vêm incorporando o meio ambiente como alvo de proteção do governo. A legislação ambiental brasileira é considerada uma das mais modernas

do mundo (LUSTOSA, 2002)². No entanto, a necessidade de revisão dessa legislação, como instrumento de governabilidade global, bem como a sua forma de implementação, se tornou evidente depois de se constatar, após Conferência da ONU (Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, popularmente denominada de Rio +10³), que pouco se atingiu em relação às metas traçadas na ECO-92⁴.

Durante a ECO-92, foram estabelecidas bases de ação na Agenda 21⁵, considerados como requisitos inadiáveis para o desenvolvimento sustentável, destacando-se: a) a mudança de padrões de consumo e a forma de utilização dos recursos naturais; b) tratamento da questão ambiental sob uma ótica global, incentivando uma cooperação mundial, tendo em vista a inexistência de fronteiras de muitos problemas ambientais; c) a busca por um enfoque econômico dos problemas ambientais, impulsionando o desenvolvimento de instrumentos econômicos a fim de se atingir uma maior eficiência da regulamentação governamental.

Historicamente foi aceita a idéia da existência de um antagonismo entre ecologia e economia; pois enquanto a primeira toma como base a descrição de tempo e espaço, sendo os processos de transformação de matéria-prima realizados sobre um conjunto finito de recursos naturais, a economia não pondera tempo e espaço, não considera a finitude dos recursos naturais, pois sua busca é pelo contínuo crescimento (geração de valor), objetivo de todo processo produtivo. A proteção da natureza não é a principal tarefa do ambientalismo na atualidade, é sim a busca do equilíbrio entre as polaridades e contradições existentes na civilização, que, em um nível de abstração mais amplo, são as verdadeiras causas da crise ecológica.

Neste aspecto, o estudo sobre crescimento econômico versus preservação ambiental gera à seguinte constatação: o crescimento leva à exclusão social e ambiental. Essa última é resultado da constante degradação do meio ambiente, decorrente do padrão de produção até então vigente, baseado em produtos e processos produtivos, eficientes e portanto mais baratos, e de uso intensivo em fatores, fazendo com que as camadas menos abastadas da população,

² Entretanto, a fragilidade institucional da gestão ambiental pública é uma barreira para o gerenciamento ambiental adequado. A falta de recursos humanos, financeiros e da disponibilidade de informações organizadas e sistematizadas são problemas que necessitam solução imediata (LUSTOSA, 2002).

³ Encontro promovido pela ONU em 2002, em Johannesburgo, na África do Sul, também conhecido como Eco-2002, teve como objetivo discutir e avaliar os acertos e falhas nas ações relativas ao meio ambiente mundial, nos últimos dez anos.

⁴ Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED), ou ECO-92, foi realizada em 1992 no Rio de Janeiro, e reuniu representantes de 175 países e de Organizações Não-Governamentais (ONGs). Considerado o evento ambiental mais importante do século XX, a ECO-92 foi a primeira grande reunião internacional realizada após o fim da Guerra Fria.

⁵ O principal documento produzido na ECO-92, a "Agenda 21" é um programa de ação que viabiliza o novo padrão de desenvolvimento ambientalmente racional. Ele concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

por ocuparem áreas degradadas, sejam mais prejudicadas pelas más condições ambientais. A exclusão social, por sua vez, é causada pela desigualdade da distribuição dos benefícios do crescimento.

No final da década de 60, diante do quadro ambiental, a problemática da pressão exercida sobre os recursos naturais é incluída no debate econômico de forma mais acalorada⁶. De acordo com o *main stream* (considerando a tecnologia estática), o limite para o crescimento seria a completa exaustão dos recursos naturais do planeta. Apenas após a crise do petróleo, foi reconhecida a necessidade de se mudar o padrão tecnológico vigente para se lidar com o problema do meio ambiente.

A evolução tecnológica permitiu o questionamento sobre novas formas de crescimento através da difusão de novas descobertas tecnológicas, novos produtos e novos processos, menos agressivos ao meio ambiente. Entretanto, a forma de aplicação e difusão destas novas tecnologias, via política ambiental, gera resultados questionáveis principalmente sobre o setor industrial (alvo de constantes fiscalizações devido ao seu status de potencial poluidor).

Particularmente para os países em desenvolvimento, regulamentações industriais de cunho ambiental são vistas em geral como imposições dos países ricos para interferir no desenvolvimento dos países mais pobres, porque àqueles já alcançaram o desenvolvimento desejado tendo a degradação de seu meio ambiente como efeito colateral. Sob essa perspectiva, é impossível desvencilhar o ícone entre poluição, crescimento industrial e desenvolvimento econômico (YOUNG et. al, 2001).

Difícilmente surge uma consciência ambiental espontaneamente. Dessa forma, uma política ambiental se mostra contundente para que seja possível haver crescimento com sustentabilidade.

Por fim, o enfoque econômico da questão ambiental se conclui pela imprescindibilidade de construir novos conceitos, métodos, princípios e instrumentos que possam orientar a condução de políticas públicas destinadas a promover um ajuste permanente entre economia e meio ambiente.

Incorporar o meio ambiente ao planejamento não significa apenas agregá-lo a um plano do desenvolvimento, nem tampouco se trata apenas de elevar o patamar de relevância

⁶ Os economistas clássicos já tinham tratado do tema. David Ricardo, em sua teoria da renda da terra, trata da escassez de terras férteis, que encarece os alimentos, devido aos rendimentos decrescentes da produção agrícola. Thomas Robert Malthus foi quem primeiro escreveu a respeito da sustentabilidade do sistema econômico, pois previa a escassez de alimentos, devido à incompatibilidade das taxas de crescimento entre população e produção de alimentos. Entre os economistas neoclássicos, William Stanley Jevons, em 1865, analisou a sensibilidade do crescimento econômico frente a uma possível escassez do carvão, que seria a maior fonte de energia da época. Arthur Cecil Pigou, em 1920, introduziu o conceito de externalidade, colocando a poluição como uma externalidade negativa do processo de produção industrial (LUSTOSA, 2002).

(dentro de uma hierarquia de valores) em que se encontra a questão ambiental; mas consiste na análise (em todo o processo de planejamento) das oportunidades, potencialidades, riscos e perigos inerentes à utilização dos recursos ambientais. O planejamento ambiental deve estar vinculado às políticas de desenvolvimento e distribuição dos benefícios sociais por ele gerados, orientado por modelos que reconheçam as especificidades dos fatores naturais e culturais da realidade em planejamento (ALMEIDA, 1999).

1.2 A TEORIA EVOLUCIONÁRIA

A concepção dinâmica da teoria evolucionária requer a ocorrência de três pilares básicos: a) mecanismo de introdução de novidades; b) mecanismo de seleção de várias espécies, ou agentes, e comportamentos e; c) a permanência de diversidade. O estudo do processo criativo⁷ (cerne central da teoria) mostra-se extremamente importante, já que as inovações cumprem o papel de principal responsável pelos saltos de produtividade da economia. A empresa, como agente basal da economia, é a principal responsável pelo processo inovativo, pois se trata de uma resposta natural daquela (em sua busca por lucro) às condições do meio, sendo o mercado o organismo de seleção destas inovações.

A abordagem teórica que fundamenta este trabalho é, nas palavras de Wilbur e Harrison (1978) *apud* Freeman (1988), holística, sistêmica e evolucionária: holística no sentido de que o todo mostra comportamentos que não podem ser deduzidos apenas agregando suas partes, e as partes não podem ser individualmente entendidas a partir dos relacionamentos que elas têm umas com as outras para formar o todo; é sistêmico e evolucionário no sentido de que o sistema sócio-econômico sob investigação é concebido sempre como um estado que sofre constantes mudanças qualitativas, como seus elementos constituintes alteram seus comportamentos nas relações com os outros e com o ambiente extra-sistêmico.

Dessa forma, a escolha desta teoria mostrou-se adequada ao tema proposto por esse trabalho, pois a preservação ambiental requer soluções que as tecnologias existentes não foram capazes de suprir. Além disso, no contexto ambiental, é necessário tratar inovação, competitividade e meio ambiente de uma forma sistêmica e sincronizada.

⁷ A continuidade desse processo criativo depende da permanência da diversidade.

Nelson e Winter (1982) fazem um paralelo entre a visão darwiniana do mecanismo de seleção das mutações das espécies dos seres vivos com a triagem das inovações realizadas pelo mercado e/ou instituições. As inovações que se revelaram mais adequadas às necessidades apresentadas pelo mercado são firmadas no processo produtivo atribuindo altos lucros às empresas inovadoras (porventura lucros de monopólio até serem difundidas pelo mercado com conseqüente queda nos lucros), caso contrário são descartadas. Verifica-se, portanto, três atores principais: a) a empresa, como agente propulsor da inovação; b) as instituições, a sociedade e o ambiente econômico como mecanismos de seleção das inovações; e c) o mercado como principal *locus* do mecanismo de seleção.

Existem micro e macro dimensões nesses processos de mudança. Indivíduos e/ou organizações se desviam do ‘modo normal’ de fazer as coisas; se ajustam a mudanças externas (no ambiente); respondem de forma nova e ‘criativa’; ou exploram o que eles acreditam serem (certo ou errado) oportunidades inexploradas. Por sua vez, comportamentos individuais e organizacionais, em diferentes graus e através de diferentes processos, são selecionados, penalizados ou advertidos. Eles são selecionados *ex ante* na base das estruturas cognitivas, nas ‘visões de mundo’ e competências individuais, e nas normas de organização existente. Eles também são selecionados *ex post*. Nas economias contemporâneas, competição de mercado e outras formas mais discricionárias de seleção (como as governamentais, e seleção de instituições financeiras, etc.) escolhem o comportamento, produtos, técnicas, e formas de organização – em algum critério econômico e/ou institucional – que são ‘preferidos’.

O processo de ajustamento dinâmico (fundamentalmente diferente dos mecanismos alocativos neoclássicos) se relaciona tanto com mudanças técnicas e institucionais como com a falta delas. A moldura sócio-institucional sempre influencia e às vezes facilita ou retarda processos de mudanças tecnológicas e estruturais, coordenação e ajustamento dinâmico. Tais efeitos de aceleração e retardamento são relacionados não somente a ‘imperfeições’ de mercado, mas à própria natureza do mercado, e ao comportamento dos agentes. As instituições são uma parte inseparável do modo como o mercado funciona (FREEMAN, 1988).

No contexto deste trabalho, e no escopo da teoria evolucionária, a política ambiental não é tratada como um choque externo, mas é traduzida como um sinal das instituições e da sociedade de que há necessidade de incluir a questão ambiental ao paradigma tecnológico. A política ambiental surge em resposta às evidências de esgotamento dos recursos naturais e de degradação do meio ambiente que acarretam em uma queda na qualidade de vida da

população em geral. Entretanto, para que a política ambiental de fato vigore, é necessário um pleno entendimento das entidades responsáveis pela formulação das leis em relação aos agentes que compõem o meio ambiente.

Este entendimento está muito além do conhecimento do funcionamento das firmas alvo de tais políticas, mas também abrange o mercado consumidor, sociedade e todos os demais atores que se inter-relacionam com a firma direta ou indiretamente. Portanto, uma concepção holística, sistêmica e evolucionária, como a aqui proposta, sugere uma ampliação da relação política/objetivo ambiental, pois, ao se estudar o percurso necessário para se atingir determinado objetivo ambiental, vê-se que é necessário muito mais que a simples formulação de leis.

Apesar de a referida abordagem teórica admitir singularidades no comportamento de cada firma, seu estudo se torna possível, pois a dinâmica do capitalismo não é um processo puramente aleatório. Existem regularidades no padrão de mudança tecnológica que vêm sendo analisados em estudos empíricos e que talvez se relacione com os padrões relativamente estáveis do crescimento. Existem trajetórias tecnológicas e ‘paradigmas tecnológicos’ que oferecem oportunidades de lucro, investimento em inovação e crescimento de novos mercados no decorrer de longos períodos em direção à trajetórias bem definidas de desenvolvimento e difusão (FREEMAN, 1988).

Para uma melhor elucidação do processo de inovação ambiental, é necessário um conceito mais amplo de inovação, inovação ambiental e competitividade, bem como sua forma de interação com as instituições, além de uma varredura sobre os tipos de políticas ambientais vigentes.

1.2.1 Inovação

A tecnologia existente em uma firma, a partir de certo momento, torna-se obsoleta e não mais a atende em termos financeiros e econômicos, sendo a inovação a única solução possível para alguns problemas. Entretanto, os resultados destas inovações não podem ser antecipados, de forma se possa caracterizar o processo inovativo, de acordo com Dosi (1988), como incerto e irreversível. Devido a incerteza inerente ao ambiente econômico, é necessário aplicar uma perspectiva dinâmica acerca da análise de mudança tecnológica e inovação. As

constantes mutações que envolvem o processo de inovação, não mostram compatibilidade teórica com a abordagem estática do *main stream*. O passado pode ser analisado historicamente, mas o futuro e o presente requerem uma abordagem evolucionária (CAVALCANTI FILHO et al, 2000).

Segundo a teoria econômica evolucionária, as firmas não possuem mesmo objetivo ou comportamento, elas possuem características específicas e individuais. Cada firma tem rotinas, estratégias e competências peculiares, que determinam sua capacidade de sobrevivência e sua forma de identificar e solucionar problemas. As inovações são, então, respostas ou reações das firmas frente a um novo desafio. Para Hall (1994), inovação não significa necessariamente ineditismo, e pode ser conceituada como todas as atividades que geram mudanças tecnológicas e, ou interação dinâmica.

A habilidade de captar novos conhecimentos e tecnologias está relacionada ao conhecimento previamente acumulado. De acordo com Nelson e Winter (1982), evolução tecnológica envolve conhecimentos específicos, frequentemente idiossincráticos que é acumulado ao longo do tempo através de processos de aprendizado igualmente específicos, cuja direção depende parcialmente dos conhecimentos específicos das firmas e das tecnologias em vigor.

As principais feições do progresso técnico, segundo Dosi (1988) são: a) graus setoriais específicos de apropriabilidade e diferentes níveis de oportunidade de avanços tecnológicos; b) conhecimento tecnológico parcialmente tácito; c) variação na base de conhecimento e procura por procedimentos para inovação; d) incerteza; e) irreversibilidade de avanços tecnológicos (i.e. dominância de novos processos e novos produtos sobre os velhos, independente dos preços relativos); f) endogeneidade de estruturas de mercado associadas com a dinâmica da inovação; g) existência permanente de assimetrias e variedade entre firmas (e países) e suas capacidades inovativas.

Existem fatores internos e externos à firma, que influenciam sua capacidade de se tornarem inovadoras. Os primeiros englobam competências específicas para resolução de problemas, e a capacidade da firma de absorver e ter acesso a inovações desenvolvidas por outras firmas. Os fatores externos referem-se ao *paradigma tecnológico* vigente, ao Sistema Nacional de Inovação (SNI), a concorrência de mercado e as medidas regulatórias (LUSTOSA, 1999).

Ambos os fatores internos estão estreitamente relacionados à experiência acumulada. As competências específicas são aprendidas ao longo do tempo, demonstrando a habilidade da firma de se adaptar ao meio na busca por soluções de problemas. A capacidade de absorção da

firma é determinada pelo seu conhecimento tácito, e por seus investimentos em P&D, permitindo que ela tenha uma perspectiva mais aguçada sobre como selecionar melhor as informações obtidas, tornando investimentos mais produtivos, influenciando, por sua vez, sua capacidade de inovar. Todavia, os investimentos realizados a fim de melhorar a capacidade de absorção da firma (gastos com treinamento e P&D), assim como a aquisição de inovação de terceiros, possuem custos elevados e podem ser considerados *sunk-cost*⁸. Portanto, a capacidade de inovar da firma é limitada pelos altos custos dos investimentos em P&D, ou pelos custos de adquirir tecnologia de firmas inovadoras, e depende de sua capacidade endógena de acumular conhecimentos técnicos e produtivos. (CAVALCANTI FILHO et al, 2000).

Quanto aos fatores externos, o atual paradigma tecnológico limita a capacidade de inovar porque define o padrão científico em que as inovações devem ser consideradas. Dependendo dos fatores internos, mudanças nesse paradigma podem induzir a firma a se tornar mais ou menos inovadora.

Cada paradigma trata de uma definição de problemas relevantes que devem ser resolvidos, de uma solução a ser encontrada, de um padrão de questionamentos, do material tecnológico a ser usado, e dos tipos de artefatos básicos a ser desenvolvido e melhorado. Uma *trajetória tecnológica* é então a atividade do progresso tecnológico ao longo de *trade-offs* econômicos e tecnológicos definidos pelo paradigma.

Partindo de uma conceituação ampla de tecnologia, define-se então paradigma tecnológico, segundo Dosi (1982), como um ‘modelo’ ou ‘padrão’ de solução, amplamente aceito, para determinados problemas tecnológicos.

Há uma tendência para se concentrar os problemas tecnológicos em torno das soluções já conhecidas. Lustosa (2002) argumenta que, após a determinação do paradigma tecnológico, as inovações tornam-se seletivas na disposição de resolver problemas, escondendo outras soluções que estariam exclusas daquele paradigma.

Se as dificuldades em se encontrar solução dentro desse paradigma se tornar consideráveis, então existe forte incentivo para mudança de paradigma. Mas, isto também não é condição suficiente, um novo paradigma, requer, além disso, avanços nos conhecimentos tecnológicos, nas condições institucionais e de mercado.

Assim, dentro dos limites do paradigma tecnológico atual, uma determinada tecnologia é selecionada. Contudo, a tecnologia escolhida não foi eleita por mostra-se mais

⁸ Sunk-costs são custos irrecuperáveis que não podem ser repostos mesmo se a firma deixar o mercado.

eficiente, mas ela se tornou mais eficiente justamente porque foi a tecnologia escolhida. Portanto, a tecnologia além de ser *path-dependent*, cria também um efeito *lock-in*, conduzindo a firma para a tecnologia mais avançada e ao paradigma tecnológico presente, porém afetando sua capacidade de inovação.

O segundo fator externo, SNI, constitui o sistema organizacional responsável pelo desenvolvimento de ciência e tecnologia de uma nação. É um complexo arranjo institucional envolvendo os laboratórios de P&D das firmas, os institutos de pesquisa e universidades, agências de financiamento, instituições educacionais, instituições legais e mecanismos de seleção (o mercado e outras instituições regulatórias). Um SNI eficiente é um forte incentivo para as firmas se tornarem inovadoras.

A conjuntura macroeconômica também é um forte determinante do processo de inovação da firma, e é aqui que entram os dois últimos fatores externos que influenciam a capacidade de inovação da firma, a concorrência de mercado e as medidas regulatórias. Sob um alto grau de incerteza⁹ as firmas têm maior dificuldade em tomar decisões consideradas de risco, então, o processo de inovação sendo incerto e irreversível, é prejudicado. Com isso, a estabilidade macroeconômica cria expectativas propícias para que seja tomada a decisão de inovar, e isso inclui ter conhecimento sobre sua capacidade de corresponder positivamente às medidas regulatórias.

Para a teoria evolucionária, o nível de competição em que a firma está inserida, é crucial para a decisão de criação ou implementação de inovação. Em mercados competitivos, a inovação passa a ser um fator de diferenciação entre as firmas, sendo a única opção da firma se sobressair.

Vale ressaltar, como evidenciado por Johnson (1997), que apesar da empresa exercer papel preponderante no processo de inovação, a habilidade inovativa de uma economia é determinada também pelas inter relações entre empresas e outras organizações assim como com os setores governamentais, e não somente pelas empresas individuais e suas características. A inovação não é uma atividade isolada da firma, pois depende da rede de cooperação que é fortemente influenciada pelo contexto institucional em que se insere (TAHIM, 2008).

⁹ Segundo Possas, incerteza é imensurável, mas pode ser graduada.

1.2.1.1 O papel da Instituição

Inovação se relaciona diretamente com incerteza, e esta, por sua vez, *necessariamente implica instituição*, em dois sentidos. Primeiro, incerteza requer instituições que modelem comportamentos (que talvez seja apenas desenvolvimento endógeno de organização, regras, crenças ou talvez também envolva organizações externas, leis, etc.). Segundo, incerteza requer instituições que organizem as interações e a coordenação entre agentes que: i) têm conhecimentos aproximados de possibilidades de ‘estados do mundo’ e da sua capacidade de geração de renda; b) operam em um ambiente onde as interações necessariamente produzem externalidades e rendas “acidentais”¹⁰ (DOSI, 1988).

Sugerem-se, dessa forma, duas definições complementares de instituição, a primeira mais convencional inclui não-mercado, organizações não lucrativas. A segunda, próxima da definição da sociologia, inclui todas as formas de organizações, convenções e comportamentos recorrentes e determinados que não estejam diretamente mediados através do mercado.

Instituições que modelam ‘visões de mundo’, comportamentos convencionais, percepções de oportunidades, e interações entre os agentes são um ingrediente importante na explicação do comportamento dos agentes, e.g. quanto eles investem em inovação, que tipo de progresso técnico esperam no futuro, que mecanismos de apropriação eles tentam construir, quanto cooperam, e em que nível competem uns com os outros.

Instituições são importantes tanto nos casos simples de informação imperfeita (STIGLITZ, 1988) quanto nos casos mais simples de ‘expectativas naturais’ sobre o mundo (FRYDMAN, 1982). A *fortiori*, as instituições possuem papel fundamental em todos os ambientes inovativos que apresentem as formas de incerteza descritas anteriormente. Além disso, o mercado sozinho não pode ser adequadamente entendido sem referência às instituições que configuram comportamentos e mecanismos de ajuste (AKERLOF, 1984; OKUN, 1981 apud DOSI, 1988).

¹⁰ Traduzido de “unintentional outcomes”.

1.2.2 Eco-Inovação, Eco-Eficiência e Inovação Ambiental

É importante perceber as sutilezas relativas à diferenciação entre inovação e inovação ambiental. Na literatura de inovação, é feita uma distinção entre inovação incremental, inovação radical e sistemas de inovação (novos sistemas tecnológicos) (FREEMAN, 1982; RENNINGS et al, 2003). Inovações incrementais são pequenas modificações no processo produtivo ou no produto, enquanto inovação radical implica numa descontinuidade tecnológica com a tecnologia e com as competências já existentes. As inovações muito radicais reformulam uma nova trajetória tecnológica oferecendo novas soluções para um problema, e.g. fontes de energia renovável como substituto para combustíveis fósseis.

Eco-inovação é um conceito recente, e apareceu pela primeira vez na literatura no livro de Claude Fussler e Peter James (1996). Em artigo subsequente, Peter James define eco-inovação como novo produto e processo que oferece valor aos usuários e empresários, mas com impacto ambiental significativamente inferior (JAMES, 1997 apud KEMP; FOXON, 2007).

O documento *“Promoting Eco-efficient Technology – The Road to a Better Environment”*, do governo da Dinamarca, define eco-inovação como uma inovação que conduz a uma tecnologia eco-eficiente. Por sua vez, tecnologia eco-eficiente significa todas as tecnologias que direta ou indiretamente promovem benefícios ao meio-ambiente, o que inclui diminuição da poluição, produtos e processos “ambientalmente saudáveis”, gerência de utilização mais eficiente de recursos, e sistemas tecnológicos para redução de impacto ambiental. Reduzir impactos ambientais não é necessariamente o principal objetivo de uma tecnologia eco-eficiente (uma melhor utilização de recursos, por exemplo, reduz custos e a necessidade da quantidade utilizada, que é um benefício ambiental) (KEMP; FOXON, 2007).

O conceito de eco-inovação é freqüentemente usado como sinônimo para inovação ambiental (RENNINGS, 2000). Existem várias definições para inovação ambiental. Como definido por Kemp e Arundel (1998) e Rennings e Zwick (2003). A inovação ambiental constitui-se de processos, equipamentos, produtos, técnicas e sistemas de gestão que evitam ou reduzem os danos ambientais. Percebe-se que essa definição não se refere à novidade. O elemento característico é o ganho ambiental, que também é o principal aspecto do conceito de tecnologia ambiental que é usado pela ETAP (*European Commission's Environmental Technologies Action Plan*).

De acordo com a ETAP, **tecnologias ambientais são àquelas cuja utilização é menos danosa ao meio ambiente, em relação à outras alternativas tecnológicas. Incluem tecnologias e processos para a gestão da poluição (e.g. controle da poluição do ar, gestão de desperdício), produtos menos poluentes ou menos intensivos em recursos e serviços e formas de gestão mais eficiente de recursos (e.g. oferta de água, tecnologias mais econômicas no uso de energia).**

Na própria definição de tecnologia ambiental tem-se inovação. Essa inovação pode ser de duas formas: na redução de custos para se alcançar um melhoramento ambiental, ou em ganhos ambientais muito maiores que o modelo antigo. Também pode ser uma nova tecnologia para um novo problema ambiental. O termo eco-inovação é muitas vezes usado como sinônimo para tecnologia ambiental, o que se constitui uma fonte de confusão, pois às tecnologias ambientais são decorrentes da inovação (que poderia ser chamada de eco-inovação, mas é comumente referida como uma inovação “normal”), e porque o termo eco-inovação é geralmente visto como um conjunto de soluções ambientais maior, sendo as tecnologias ambientais um subconjunto da eco-inovação (KEMP; FOXON, 2007).

É importante ressaltar que a difusão generalizada do uso de eco-inovações não garante o melhoramento da qualidade ambiental como um todo. Segundo Kemp e Foxon (2007), tecnologias mais eficientes, que reduzem custos, significam aumento de riqueza real que se traduz em aumento no consumo, e que está associado, por sua vez, ao aumento na utilização de recursos e emissões (*rebound effect*).

Na definição da ETAP, o termo eco-inovação é a produção, adaptação ou exploração de uma novidade em produto, processo produtivo, serviços ou gestão ou metodologia administrativa, que objetiva, ao longo de seu ‘ciclo de vida’, prevenir ou reduzir substancialmente o risco ambiental, poluição e outros impactos negativos da utilização de recursos (incluindo uso energético). Novidade e objetivo ambiental são duas particularidades específicas à essa definição¹¹.

Esta definição limita eco-inovações àquelas inovações realizadas objetivando diretamente a redução dos danos ambientais, excluindo as inovações ambientalmente “saudáveis” que não foram propriamente criadas para reduzir a poluição ou o desperdício. O ganho ambiental promovido por inovações “normais” nunca foi objeto de estudo sistemático.

¹¹ Deve-se observar que o uso do termo inovação como uma novidade (como tem sido feito pela ETAP) advém do Manual Oslo (OECD, 2005) sobre inovação, que define que inovação não requer investimentos em atividade criativa como P&D. As firmas podem inovar adotando uma tecnologia desenvolvida por outras firmas ou organizações. O Manual Oslo é coerente com o ponto de vista das firmas sobre inovação. Do ponto de vista da firma, a adoção de uma tecnologia em substituição à outra existente é uma inovação, mesma que essa tecnologia não seja necessariamente uma novidade no mercado.

Contudo, estima-se que 60% das inovações ocorridas em empresas na Holanda (e que constam na Dynamo Database) oferecem benefícios ambientais. Outro dado interessante é que 55% das inovações apoiadas por um planejamento de inovação geral de cooperação em pesquisa oferecem “benefícios para sustentabilidade”. Estas evidências na Holanda sugerem que a maioria das inovações tecnológicas oferece benefícios ambientais (KEMP; FOXON, 2007).

Dentro do campo da inovação ambiental é possível diferenciar tecnologias criadas com o propósito ambiental, daquelas cujo ganho ambiental seria um “efeito colateral”. A primeira categoria de tecnologia seria chamada de “inovação ambientalmente motivada” e a segunda seria “inovação normal com benefícios ambientais”.

O termo eco-inovação poderia então ser usado para todas as inovações que fossem menos danosas ao meio-ambiente, ou poderia se restringir àquelas inovações cujo desenvolvimento teve o propósito de reduzir os malefícios ambientais. Todavia, como sugerido por Kemp e Foxon (2007), propõe-se não realizar tal restrição, o que nos conduz à seguinte definição de eco-inovação:

Eco-Inovação é a produção, utilização ou exploração de um bem, serviço, processo produtivo, estrutura organizacional, ou gestão, que é novidade para a firma ou usuário e que seu resultado, ao longo do “ciclo de vida”, conduz a uma redução dos riscos ambientais, da poluição e dos impactos negativos da utilização de recursos (incluindo o uso de energia), quando comparado às alternativas existentes.

Observa-se que esta definição se baseia na definição utilizada pela ETAP com a diferença que engloba tanto as “inovações ambientalmente motivadas”, quanto as “inovações normais com benefícios ambientais”.

A taxonomia tradicional de inovação ambiental divide dois tipos de inovação: *end-of-pipe* (EOP) e tecnologia limpa (ou *pollution prevention* – PP), sendo a segunda forma ambientalmente superior (KEMP, 1997; FRONDEL et al, 2007)¹².

No caso EOP, como o objetivo é o controle da contaminação, as substâncias tóxicas são tratadas antes de sua emissão¹³ à atmosfera e são realizadas “limpezas” de ecossistemas degradados; baseia-se em tecnologia já existente, considerando-se apenas paliativos àquele problema. Para o sistema PP, classificados como *eco-eficiente*, cujo conceito está associado à mudanças na tecnologia adotada, há a adoção de tecnologias limpas, aperfeiçoamentos na

¹² Para um esquema mais elaborado de uma taxonomia para eco-inovação ver Kemp e Foxon (2007).

¹³ É importante distinguir emissões industriais de poluição industrial. As emissões são os resíduos da atividade industrial, que são em parte absorvidas pelo meio ambiente. Quando a capacidade assimilativa do meio ambiente é inferior à quantidade de emissões surge, então, a poluição.

eficiência da produção através de gestão inovativa, geração de menos resíduos e reciclagem de produtos (LÓPEZ, 1996).

Contudo, como apontado por López (1996), os limites entre as soluções EOP e PP não podem ser plenamente distintos na prática. Um tratamento EOP talvez recupere substâncias que podem ser recicladas posteriormente. Além disso, as soluções tidas como *eco-eficientes* não eliminam completamente os problemas para o meio ambiente, sendo necessários tratamentos complementares do tipo EOP. Existem ainda conflitos de interesse em objetivos de longo e curto prazo para estes dois tipos de solução.

As soluções PP, com objetivos de longo prazo, necessitam de políticas que incentivem e geração e adoção de inovações ambientais. De outra forma, EOP, sendo de curto prazo, controla a emissão imediata de poluentes. É mais fácil de ser implementada, pois podem se adaptar a tecnologia já existente, sem necessidade de mudanças radicais na produção e na organização da firma. No entanto, as inovações ambientais que requerem mudanças mais radicais, podem ser desencorajadas se as políticas ambientais enfatizarem apenas os resultados de curto prazo via redução da poluição.

Como as soluções do tipo EOP são criadas externamente à empresa, Young e Lustosa (2001) argumentam que este enfoque está de acordo com a visão de aumento de custos e perda de competitividade da empresa. Inversamente, as soluções do tipo PP requerem um alto nível de capacitação por demandar mudanças drásticas nos processos produtivos, implicando em remodelagem da estrutura interna, na organização e gestão da empresa.

Porter e Van Der Linde (1995a; 1995b) defendem a implementação de práticas inovadoras do tipo PP, pois, para eles, apesar da complexidade envolvida nesses tipos de solução ambiental, ainda assim existem vantagens econômicas e ecológicas que justifiquem o esforço. Além da eficiência de preservação ecológica, esse tipo de tecnologia apresenta menores custos de redução da contaminação, permitindo até mesmo uma redução nos custos totais das empresas. Apesar disso, a popularidade das tecnologias EOP ainda é predominante na maioria das empresas, devido à facilidade de aplicabilidade (YOUNG; LUSTOSA, 2001; LUSTOSA, 1999; LOPEZ, 1996). É consenso na literatura que a transição da tecnologia EOP para PP é condição *sine qua non* para o avanço de inovações tecnológicas voltadas ao desenvolvimento sustentável, que privilegiem a prevenção ao invés da simples reparação do dano.

Contradizendo essa visão competitiva entre esses dois tipos de tecnologia, Foray e Grübler (1996) enfatizam o caráter de complementaridade entre ambas, sendo uma mais adequada à política de curto prazo e outra à de longo prazo. Corroborando a esse aspecto,

Tigre (1994) diz que as tecnologias do tipo PP requerem um horizonte de longo prazo, pois seu desenvolvimento depende do arcabouço político, técnico-organizacional e econômico, cuja concretização está ligada a um complexo processo de mudança social, o que caracteriza um novo paradigma comportamental para indústria.

Na OECD, as soluções EOP deixaram de ser o principal tipo de tecnologia para os problemas ambientais (Figura 1). As empresas demonstram a adoção de tecnologia limpa. Das firmas que constam na pesquisa de Frondel et al (2007), 76,8% delas mudaram a tecnologia de produção, e apenas 23,2% adotaram soluções EOP. O predomínio da produção limpa é regra para os 7 países estudados. A Alemanha apresentou o maior número de empresas que adotaram soluções EOP, e o Japão o maior número em produção limpa.

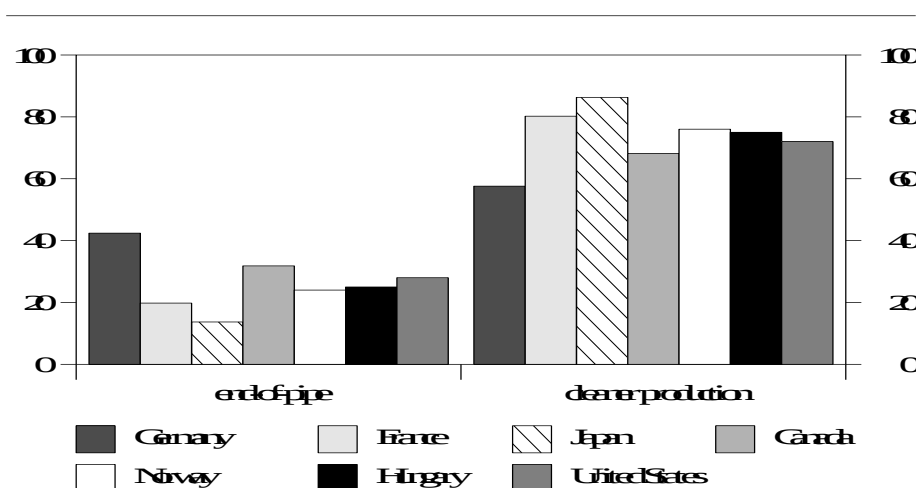


Figura 1: Escolha de tecnologias ambientais em sete países da OECD (em %)
Fonte: Frondel et al. (2007).

1.2.2.1 Eco-eficiência

Eco-eficiência é definida como *“the delivery of competitively priced goods and services that satisfy human needs and bring quality of life while progressively reducing ecological impacts and resource intensity, through the life cycle, to a level at least in line with the earth’s estimated carrier capacity”* (World Business Council for Sustainable Development, 2000). Geralmente é medida em nível de produto ou serviço.

$$\text{Eco-eficiência} = \frac{\text{valor do produto ou serviço}}{\text{impacto ambiental}}$$

Para o valor do produto ou serviço, geralmente se usa o valor adicionado dos produtos (mesmo que não inclua excedente do consumidor). O impacto ambiental é mais difícil de mensurar, é geralmente calculado baseado na utilização de recursos (relativo à fonte do recurso), na emissão ao ar, na utilização de solo e água por unidade produzida. A toxicidade do recurso também é levada em consideração. Com o atual conhecimento não é fácil mensurar a eco-eficiência, então a WBCSD (2000) definiu sete estratégias que conduzem à eco-eficiência:

- a) Reduzir a utilização de material;
- b) Reduzir a utilização de energia;
- c) Reduzir a dispersão de substâncias tóxicas;
- d) Promover a reciclagem;
- e) Aumentar o uso de recursos renováveis;
- f) Aumentar a durabilidade dos produtos;
- g) Aumentar a qualidade do serviço.

1.2.3 A oferta e demanda por tecnologia limpa e a necessidade da regulamentação

Segundo Tigre (1994), a gestão ambiental por parte das empresas é uma atividade incorporada de forma gradativa ao quadro produtivo. As empresas “aprendem” e “evoluem” no que diz respeito à ecologia. O autor descreve hipoteticamente os estágios dessa evolução da seguinte forma: a princípio são formados pequenos grupos empresariais que simplesmente atendem às regulamentações governamentais. Em seguida, a questão ambiental assume uma dimensão corporativa, difundindo-se o surgimento de uma “consciência ecológica” através de cursos e campanhas de conscientização. Por último o meio ambiente passa a integrar o corpo das estratégias competitivas da empresa, tomando feições pró-ativas e preventivas.

Nesse primeiro estágio, o ambiente regulatório é de suma importância na determinação de um contexto propício à geração de inovação. O tipo e nível de regulação ambiental dependerão da atividade e da estrutura de mercado da firma, sendo diretamente relacionado com o grau de impacto ambiental de suas atividades. Firms cuja atividade exerce um alto grau de impacto ao meio ambiente estão mais sujeitas a controles específicos, porém,

dependendo do objetivo e instrumentos da política ambiental, esta regulação pode agir como incentivo à inovação.

No âmbito da teoria evolucionária, a variável ambiental se torna elemento chave no desenvolvimento de ambientes seletivos que podem modificar as rotinas de buscas por inovações pelas empresas. A restrição ambiental, nesse contexto, adquire cada vez mais o conceito de oportunidade de ganho de vantagens competitivas através da criação de assimetrias tecnológicas, deixando de significar apenas custos (KEMP; ARUNDEL, 1998).

A criação e difusão de tecnologias limpas¹⁴, de acordo com Kemp e Soete (1990), são diferentes do processo tradicional de mudança tecnológica, traduzidas como a aplicação de técnicas de produção mais recentes e mais eficientes. Para os autores, o desenvolvimento e difusão de tecnologias limpas, dependem de fatores de oferta e demanda por tais tecnologias.

A viabilidade tecnológica, fundamental para a oferta de tecnologia limpa, difere para cada setor da economia, e depende do conhecimento técnico científico existente e da disponibilidade de equipamentos, que por sua vez, determinam a facilidade ou dificuldade de se atingir o objetivo tecnológico desejado. As condições de apropriabilidade¹⁵ são outro fator que também afetam a oferta de tecnologias limpas. O interesse social na rápida difusão dessas tecnologias justifica a pressão para reduzir o tempo de apropriação, e essa crescente expectativa por regulamentações mais rígidas, torna as tecnologias limpas um importante fator de competição. Mas, a instabilidade da demanda por tais tecnologias impede o total desenvolvimento do setor industrial dedicado a elas.

Entre os fatores que afetam a demanda por tecnologias limpas, Kemp e Soete (1990) consideram primeiramente os problemas relacionados ao conhecimento e a informação, que englobam competência técnica para adaptar novas tecnologias, e conhecimento sobre a disponibilidade de técnicas, como utilizá-las e como integrá-las.

A demanda também é afetada pela incerteza, dados os riscos envolvidos, em se adotar nova tecnologia, pois, essas envolvem mudanças na rotina e treinamento, cujos resultados também são incertos. Além disso, existe também a incerteza sobre a continuidade dos padrões ambientais então vigentes, ao se considerar a possibilidade de obsolescência prematura das novas tecnologias (que poderiam ser adotadas), significando puramente custos irreversíveis,

¹⁴ Definição de tecnologia limpa: “tecnologias direcionadas para melhorar o desempenho ambiental das firmas, ou seja, reduzir o impacto destas sobre o meio ambiente” (PODCAMENI, 2007).

¹⁵ Os retornos econômicos esperados a partir de uma inovação são o incentivo dos agentes em comprometer recursos em uma atividade em que não se conhece os resultados *ex-ante*. A apropriação privada dos ganhos derivados da inovação são então o incentivo e o resultado almejado da atividade inovativa. Segundo Dosi (1988), a apropriabilidade pode então ser caracterizada como um conjunto de atributos do conhecimento tecnológico, dos mercados e das instituições que resguardam os resultados contra a imitação por parte dos concorrentes.

fazendo com que as firmas demorem mais a tomar a decisão de investir. Este tempo de decisão, bem como a análise do risco considerado, varia de acordo com cada firma e de acordo com cada setor. Além disso, dada a grande variedade de atividades econômicas, torna-se mais difícil haver oferta de tecnologia limpa para todos os setores.

A demanda por tecnologias limpas, fortemente conduzidas por políticas ambientais, influencia negativamente a oferta de inovações ambientais, porque àquelas são constantemente alteradas como decorrência de fatores como pressão política e desdobramentos científicos. A autora também trata do aspecto da demanda por tais tecnologias sob a ótica das pequenas e médias empresas, que possuem nítida dificuldade em adquirir novas capacitações técnicas, ou adotar novos processos, cuja inovação pode caracterizar-se como aumento de custo. A política ambiental, dessa forma, ao definir padrões de emissão de poluição, e conseqüentemente, ao definir padrões de técnicas ambientais que devem ser adotadas, pode gerar perda de competitividade para as firmas no momento em que se aumentam seus custos. Além disso, a pressão exercida pelo interesse social sobre as regulamentações ambientais, de modo que essas diminuam o tempo incorrido entre geração e adoção de técnicas ambientais, pode desestimular o processo de inovação ambiental.

Este conflito entre regulamentação, inovação e competitividade, pode ter a raiz do problema, de acordo com Lustosa (2002), nos dilemas dos objetivos de curto e longo prazo das políticas ambientais, inviabilizando ou dificultando a difusão de tecnologias ambientais. Existem ainda outros fatores responsáveis por esta “barreira” à inovação, como: subsídios governamentais que incentivam o uso intensivo de recursos naturais baseado em tecnologia antiga; o risco de as regulamentações ambientais se tornarem mais rígidas; e, o fato dos poluidores não serem cobrados pelos custos dos problemas ambientais causados por suas atividades econômicas.

O grau de competição entre firmas, bem como sua situação financeira, são componentes decisivos à decisão de inovar. Mercados onde a competição é baseada em preços baixos, com baixas margens de lucro, ou com baixo grau de competitividade (monopólios ou mercados protegidos), tendem a influenciar negativamente a implantação ou geração de inovação ambiental. Como os fatores de eficiência e custo dominam os objetivos da firma, a adoção de tecnologia limpa não é prioridade, mesmo com o avanço da consciência ambiental e da pressão social (KEMP; SOETE, 1990). Assim, atitudes voluntárias de redução de poluição mostram-se limitadas, sendo necessários controles e políticas ambientais regulatórias, principalmente para forçar os grandes poluidores a reduzirem seus níveis de emissão.

1.3 HIPÓTESE DE PORTER

O argumento de que regulamentação ambiental não prejudica a competitividade das firmas, e na verdade até as tornam mais competitivas, foi originalmente apresentado em Porter (1991), e recebeu várias críticas de: Jaffe, Peterson, Portney e Stavins, (1993, 1994); Oates, Palmer e Portney, (1993); Palmer e Simpson, (1993); Simpson, (1993); Schmalensee, (1993).

A principal crítica advém da observação desses autores de que apesar de possível, a inovação ocorrida como resposta à uma regulamentação mostra pouca probabilidade de ocorrência. Porter discorda e argumenta que a poluição é a emissão de uma substância (prejudicial) ao meio-ambiente decorrente de um desperdício originado pela utilização desnecessária ou ineficiente de recursos.

Outra crítica advém de estudos que apontam os altos custos que as empresas incorrem pós-regulamentação ambiental, como evidência para a existência de *trade-off* entre regulamentação e competitividade. Contudo, para Porter (1995a), estes estudos ainda não representam resultados definitivos. O autor argumenta que estas estimativas de custos geralmente são declaradas pelas próprias indústrias (contrárias à regulamentação), e que terminam criando um viés inflacionário.

Estudos econométricos que mostram que regulamentação ambiental aumenta os custos e minam a competitividade estão sujeitas a um viés, porque os custos terminam sendo super estimados por não se considerar (nessas estimativas) os benefícios da inovação. Jorgenson e Wilcoxon (1990), por exemplo, afirmaram explicitamente que desconsideraram os benefícios tanto público quanto privado da inovação. Hazilla e Kopp (1990) e Gray (1987), estudos também bastante citados, têm seu foco apenas nos custos.

Alguns estudos têm falhado ao tentar demonstrar que regulamentação ambiental prejudica a competitividade industrial. Meyer (1992; 1993) testou e refutou a hipótese que o governo dos EUA com sua política ambiental restritiva terminou por prejudicar o crescimento econômico. Leonard (1988) mostrou-se incapaz de demonstrar estatisticamente movimentos significativos de perda de mercado das firmas norte-americanas intensivas em poluição. Wheeler e Mody (1992) também não conseguiram comprovar que a regulamentação ambiental afetou a decisão de investimentos externos das firmas norte-americanas.

Jaffe et al (1993) catalogaram mais de 100 estudos e concluíram que existe apenas uma reduzida evidência que aponte que a regulamentação ambiental dos EUA tenha afetado negativamente a competitividade das empresas.

Contudo, Porter (1995a) ressalva que não é qualquer regulamentação ambiental que irá conduzir, inevitavelmente, à inovação, mas somente àquelas “boas” regulamentações.

1.3.1 Uma “boa” Regulamentação Ambiental

A única forma possível de assegurar a compatibilidade entre crescimento econômico e sustentabilidade ambiental é através de políticas que introduzam a eficiência ambiental nas atividades econômicas. Isto significa reduzir a quantidade do impacto no ambiente por unidade de produto mais do que proporcionalmente ao aumento da atividade produtiva.

Devido às particularidades dos problemas ambientais, é consenso na literatura a necessidade de haver regulamentação ambiental. A divergência encontra-se nos tipos de regulamentação a serem utilizados, no que diz respeito ao grau de restrição. Porter e Van der Linde (1995b) argumentam que não é qualquer tipo de regulamentação que levará a solução do tipo PP. Apenas as boas regulamentações levariam à empresa a tal resultado, que teriam como consequência o aumento da produtividade dos recursos e melhoria da competitividade, e como efeito colateral o aumento da competitividade dos fornecedores de equipamentos e serviços ambientais. Regulamentações ambientais, se adequadamente formuladas, não geram aumento de custos. Porter e Van Der Linde (1995a; e 1995b) destacam os seguintes princípios para a formulação de uma boa regulamentação:

- a) Foco no resultado (*outcome*) e não na tecnologia. As regulamentações até então, têm freqüentemente recomendado (ou imposto) alguns tipos de tecnologias consideradas ideais, como catalisadores ou filtros para a poluição do ar. Os termos “*Best Available Technology*” (BAT) e “*Best Available Control Technology*” (BACT) bastante utilizado nos EUA implicam que uma tecnologia já é considerada a melhor, desencorajando, portanto a inovação.
- b) Leis restritivas são melhores que regulamentações maleáveis. As empresas podem cumprir essas regulamentações através de soluções do tipo *end-of-pipe* (EOP) ou

tratamentos secundários. As regulamentações precisam ser restritivas o suficiente para promover inovações reais, ou soluções do tipo *pollution prevention* (PP).

- c) Regular o setor mais próximo do usuário final. Isto normalmente irá permitir mais flexibilidade para a inovação no produto final e em todos os estágios de produção e distribuição.
- d) Empregar uma regulamentação de forma gradual. Regulamentações graduais e que estejam de acordo com o ciclo de investimento em capital da indústria, permitirão que as empresas planejem o investimento inovativo, gerando melhores resultados que forçá-las a implementar soluções custosas rapidamente.
- e) Usar incentivos de mercado. Esquemas de “direitos de poluição” e depósitos reembolsáveis chamam a atenção para empresas ineficientes na utilização de recursos. Direitos transacionáveis de poluição são um incentivo contínuo à inovação.
- f) Desenvolver regulamentações em sincronia com outros países ou ligeiramente mais avançadas. É importante minimizar possíveis desvantagens competitivas em relação às empresas estrangeiras que ainda não estão sujeitas às mesmas regulamentações. Regulamentações ligeiramente mais avançadas que outros países maximizam o potencial exportador nos setores onde há grande controle de poluição, incentivando a inovação. Entretanto, se os padrões determinados pela regulamentação forem muito distantes ou muito diferentes daqueles aplicados nos países concorrentes, então a indústria talvez siga uma trajetória de inovação na direção errada.
- g) Tornar o processo regulatório mais estável e previsível. O processo regulatório é tão importante quanto os padrões. Se os padrões e os períodos de adaptação são determinados e aceitos cedo demais, e se os reguladores estabelecerem esses padrões por um determinado tempo, de cinco anos, por exemplo, então a indústria sofrerá o efeito *lock-in* retardando a inovação.
- h) Participação da indústria na determinação de padrões. A indústria deve participar do processo de determinação do período de adaptação destas aos padrões que constam nas regulamentações, bem como participar da própria formulação da regulamentação. Um conjunto de informações pré-determinadas e uma interação com os representantes da indústria devem ser parte integrante do processo regulatório.
- i) Desenvolver capacidade técnica entre reguladores. Os reguladores necessitam entender o funcionamento da indústria e o que determina sua competitividade, evitando ou reduzindo os custos de obtenção de informação, bem como reduzindo a utilização de informações erradas.

- j) Minimizar o tempo e os recursos consumidos no próprio processo regulatório. Atrasos na concessão de permissão são usualmente custosos para as empresas. Auto-regulação com inspeções periódicas seria mais eficiente que a requisição de aprovações formais. Processos judiciais que possam vir a ocorrer criam incerteza e consomem recursos. Processos de arbitragem legal ou rígidas etapas de arbitragem antes dos processos judiciais reduzem custos e encoraja a inovação.

Porter et al (1995b) cita o exemplo da indústria Rhône-Poulenc em Chalampe, França, que a partir de uma regulamentação gerou uma solução do tipo EOP. A Rhône-Poulenc costumava incinerar os resíduos da produção de nylon, conhecidos como diácidos. A empresa então investiu 76 milhões de francos e instalou um novo equipamento para recuperar e vender esses diácidos como aditivos para tinturas e como agentes coaguladores. O novo processo passou a gerar anualmente rendimentos de 20.1 milhões de francos.

Como solução PP, Porter et al (1995b) também cita alguns exemplo: o complexo químico Dow, na Califórnia, utiliza gás hidroxílico com soda cáustica para produzir um grande número de produtos químicos. A empresa costumava armazenar a água desperdiçada do processo em tanques de evaporação. Em 1988 esta empresa foi alvo de uma restrita regulamentação que a obrigava a fechar estes tanques. Em 1987, sob pressão de cumprir tal regulamentação, a empresa redefiniu seu processo de produção. Diminuiu o uso de soda cáustica, reduzindo o desperdício em 6.000 toneladas por ano desta substância, e de 80 toneladas de ácido hidroxílico. Este complexo também descobriu que poderia capturar parte da água não utilizada para reutilizá-la como insumo em outras partes da planta. Esta nova descoberta teve como custo 250 mil dólares, mas resultou numa economia anual de 2.4 milhões de dólares¹⁶.

Mudanças nos processos para reduzir emissão e uso de recursos mais eficientemente geralmente geram grandes rendimentos. Como resultado de um novo padrão ambiental, a Ciba Geigy Corporation reavaliou o desperdício de água dos córregos em sua planta localizada (e fechada) em Tom's River, New Jersey (EUA). Seus engenheiros realizaram duas mudanças no processo produtivo. Primeiro, eles substituíram uma substância por outra menos prejudicial ao meio ambiente. Segundo, eles eliminaram a emissão dos resíduos tóxicos (a água utilizada) ao córrego da região. Eles não somente conseguiram reduzir a poluição como

¹⁶ DORFMAN, Mark H.; MUIR, Warren R.; MILLER, Catherine G. **Environmental dividends**: cutting more chemical wastes. New York: INFORM, 1992.

também aumentaram os ganhos em torno de 40%, realizando redução de custo anual de 740 mil dólares.

Estes exemplos deixam clara a importância da regulamentação sobre a inovação ambiental, pois de outra forma, os consumidores, somente via pressão social, não são capazes de tomar conhecimento sobre as amplas oportunidades de inovação existente.

Para Porter (1995b) o problema das regulamentações não está na rigorosidade ou rigidez de suas exigências. Está na forma como os padrões são determinados e a ineficiência com a qual são fiscalizadas. Padrões restritivos podem e devem promover aumento da produtividade dos recursos. Da mesma forma que uma regulamentação mal concebida pode prejudicar a competitividade, uma boa regulamentação pode acirrará-la.

O autor chama a atenção para a diferença existente entre o setor de papel dos EUA e da Escandinávia. As primeiras regulamentações formuladas nos EUA nos anos 70 foram impostas abruptamente (sem a etapa de fases de adaptação), forçando as companhias a adotar *Best Available Technology* (BAT) rapidamente. Na Escandinávia, diferentemente, a regulamentação permitiu abordagens mais flexíveis na busca por soluções, possibilitando que as empresas investigassem seu próprio processo de produção, e não apenas procurando soluções de tratamento secundário de resíduos. As empresas escandinavas desenvolveram tecnologias inovadoras que não só cumpriram com a meta de emissão imposta na regulamentação, como também diminuíram os custos operacionais. Mesmo que os EUA tivessem sido o primeiro país a regular, as empresas americanas mostraram-se incapazes de realizar “*first mover advantages*” porque a regulamentação do país ignorou o princípio mais importante de uma boa regulamentação ambiental: criar o máximo de oportunidade para inovação apenas permitindo que a indústria descubra como resolver seus próprios problemas.

1.4 POLÍTICAS AMBIENTAIS: COMANDO E CONTROLE E INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

A utilização de recursos ambientais acarreta em custos externos intra e intertemporais. Entretanto, tais custos não são computados no uso desses recursos devido às dificuldades técnica e institucional de definição de direitos de propriedade entre gerações. Por isso, os

preços de mercado desses recursos ambientais não representam seu valor econômico (ou social).

Em se tratando de política ambiental, por exemplo, o usuário ao se deparar com um novo preço do recurso ambiental decide o seu novo nível de utilização *vis-à-vis* os custos associados a este preço. Em outras palavras, dada uma situação inicial de relação de preços, caso ocorra uma mudança nessa relação, o usuário pondera o fato e decide a quantidade a ser acrescida ou reduzida na utilização do referido recurso, condicionado à variação no seu custo, advinda desta variação de preço.

No Brasil, apesar de a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938 /81) prever três categorias de instrumentos de gestão ambiental pública (Instrumentos Regulatórios e Punitivos; Instrumentos de Mercado ou Incentivos Econômicos; e Instrumentos de Informação), ela é, na essência e de fato, formada por instrumentos de comando e controle (CC). Podem-se definir instrumentos de CC como regras e padrões a serem seguidos, atribuindo penalidades aos que não as cumprirem. São pautados em sua maioria por relações tecnológicas, padrões e processos, e impostos de forma pouco flexível a todos os usuários, inclusive sem diferenciação espacial (em alguns casos). Os instrumentos de CC têm como principal atributo a falta de escolha por parte do poluidor, pois sua não obediência à regra imposta acarretará em penalidades previstas na lei (ALMEIDA, 1997).

Essa mesma característica é considerada tanto uma desvantagem como uma importante vantagem. A desvantagem é que os poluidores não têm livre trâmite para selecionar e realizar os ajustes no tempo que lhes convier, não caracterizando uma relação de igualdade por não considerar os custos individuais de cada usuário. A vantagem é que estes instrumentos têm uma elevada eficácia ecológica, pois uma vez fixada (de modo apropriado), a norma será cumprida (se os poluidores não violarem a lei). Entretanto, sua aplicação prática é difícil devido ao alto custo decorrente da complexidade de conhecimento técnico para a fiscalização.

Os defensores desse enfoque confiam excessivamente na capacidade do Estado em cumprir os mecanismos de comando e controle. Os instrumentos de CC correspondem ao princípio em que o órgão público responsável determina os padrões e fiscaliza a qualidade ambiental, regulando as atividades e impondo sanções e penalidades, via legislação e normas.

As políticas de comando e controle modificam o comportamento dos agentes poluidores através de: a) Padrões de poluição para fontes específicas¹⁷; b) Controle de

¹⁷ Impondo níveis pré-determinados para emissão de poluentes específicos, como o dióxido de enxofre.

equipamentos¹⁸; c) Controle de processos¹⁹; d) Controle de produtos²⁰; e) Proibição total ou restrição de atividades a certos períodos do dia, áreas etc., por meio de: concessão de licenças (não-comercializáveis) para instalação e funcionamento; fixação de padrões de qualidade ambiental em áreas de grande concentração de poluentes; e zoneamento; f) controle do uso de recursos naturais através da fixação de cotas (não comercializáveis) de extração²¹.

Além das já citadas, os economistas também apontam outras desvantagens da política de “comando e controle”: a) □altos custos administrativos advindos da determinação por agências oficiais, de normas e/ou especificações, bem como um forte esquema de fiscalização; b) □criação de barreiras à entrada de novas empresas²²; c) o poluidor não é incentivado a introduzir novos aperfeiçoamentos tecnológicos (anti-poluição) após atingir o padrão ou após concessão de sua licença; d) é suscetível à influência de grupos de interesse específicos.

O predomínio da utilização de instrumentos CC deve-se a eficiência ecológica apresentada pelos mesmos (a certeza dos resultados da regulação sobre a qualidade ambiental), tendo amplo aval da opinião pública, especialmente de grupos de ambientalistas, que certamente influenciam a tomada de decisão. Além disso, o uso deste tipo de política também é determinado pela prévia familiaridade dos *policy makers*, em virtude da experiência com a mesma em outras áreas de políticas públicas.

Outro aspecto importante do CC são as vantagens políticas que os poluidores acreditam obter com este tipo de instrumento de regulação ambiental, pois eles podem influenciar as regulações através de acordos, negociações, algumas inclusive de caráter ilícito (suborno a fiscalizadores, por exemplo).

Os instrumentos econômicos (IE), por sua vez, alteram o preço (custo) de utilização de um recurso, internalizando as externalidades e, alterando sua demanda. Esses instrumentos permitem flexibilidade de produção e consumo ao poluidor/usuário do recurso ambiental, de modo que reduza o custo social para atingir um nível determinado de qualidade ambiental (SEROA DA MOTTA et al 1996). São também chamadas na literatura de “políticas win-

¹⁸ Exigindo-se a instalação de equipamentos antipoluição (como filtros).

¹⁹ Como a exigência de substituição do insumo empregado, por exemplo a troca de óleo combustível com alto teor de enxofre por outro com baixo teor.

²⁰ Visa à inserção no mercado de produtos “(mais) limpos”. A determinação da quantidade de agrotóxicos em produtos agrícolas e proibição de fabricação de carros com baixo desempenho energético agem nesse sentido.

²¹ Pode-se citar como exemplos o caso do governo exigir uma cota de reflorestamento por quantidade de madeira extraída.

²² Algumas formas de regulação, como as licenças não comercializáveis, padrões de qualidade ambiental e zoneamento, podem significar barreiras à entrada de novas empresas, privilegiando as empresas existentes e com mercado estabelecido, alegando até mesmo que já existem poluidores em demasia no mercado.

win”, pois propõem, ao mesmo tempo, melhorias ambientais e econômicas. O exemplo seria o subsídio às atividades agrícolas sustentáveis, ou ainda a diminuição de incentivos dados a atividades agrícolas prejudiciais ao meio ambiente. Geralmente, esse tipo de política estimula a eficiência produtiva na relação insumo produto, bem como a utilização de tecnologias limpas que diminuem o consumo de matérias primas, através de uma produção *eco-eficiente*, e que também reduzem a geração de resíduos.

1.4.1 A solução de Pigou

O processo de internalizar as externalidades foi pioneiramente demonstrado por Pigou numa análise econômica sistemática de tributos no controle da poluição (PERMAN, 1999, p. 267). Na interpretação de Pigou, existem custos privados (os que a empresa ou o agente privado contabiliza) e custos sociais (os que são suportados pela comunidade). A geração de externalidades negativas prejudica o desempenho da economia devido ao custo privado não coincidir com o custo social, acarretando em um nível de utilização dos recursos maior do que ocorreria se as externalidades fossem consideradas (SEROA DA MOTTA, 1996). O tributo, então agiria como elemento corretivo de tais externalidades, fazendo com que o agente privado incluísse em seu cálculo as externalidades geradas por ele.

Na ausência de externalidades, o custo privado marginal se iguala ao custo marginal social na produção. A produção de um bem teria uma função de custo privado $CMg(q)$ e os benefícios marginais sociais desta produção (lucro da produção e satisfação no consumo do bem produzido) seriam definidos na função $Bmg(q)$. Observando o gráfico abaixo, o equilíbrio de mercado será dado na quantidade Q^* onde o custo marginal privado se iguala ao benefício marginal social. Na presença de externalidades, o custo social absorve os danos ambientais representados por uma função $Dmg(q)$, onde o valor marginal dos danos cresce quando aumenta a quantidade produzida. Agregando $CMg(q)$ com $DMg(q)$ gera-se uma função do custo marginal social $CSMg(q)$, e a quantidade de equilíbrio passa a ser $Q^{**} < Q^*$. Assim, como resultado do processo de internalização das externalidades, tem-se o ajuste das posições de equilíbrio pelo próprio mercado (SEROA DA MOTTA, 1996).

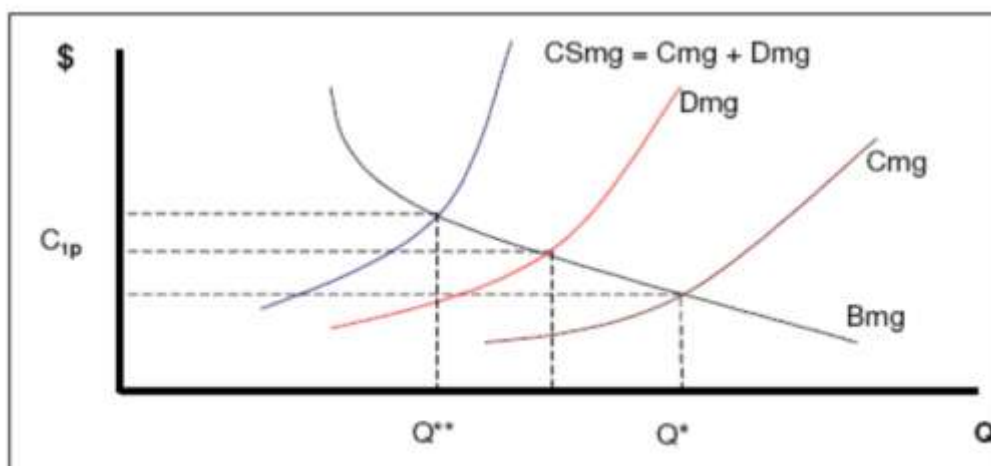


Figura 2: Nível ótimo de poluição
Fonte: Motta (1996)

No entanto, não existe conhecimento suficiente para a determinação precisa de $Dmg(q)$ para cada tipo de poluição, e, conseqüentemente de C_{1p} . Uma solução seria trocar o objetivo de um nível ótimo de poluição para um nível desejado de poluição (padrão ambiental para o meio e não o de emissão por usuário). Deixa-se de maximizar uma função de benefício social, para minimizar uma função de custo social derivando preços ótimos de poluição.

Os instrumentos econômicos são amplamente considerados pelos economistas como uma alternativa econômica eficiente e ambientalmente eficaz para complementar as estritas abordagens de comando e controle, sendo seu uso especialmente propício para países em desenvolvimento. Os IE, em geral, baseiam-se no **Princípio do Poluidor Pagador (PPP)**²³, considerado um marco teórico para balizar a formulação de políticas ambientais pelos governos, forçando os poluidores a assumirem os custos necessários para que se alcancem níveis de poluição admissíveis pela autoridade pública. Os custos de uso dos recursos ambientais são arcados pelos próprios usuários, que pagam por cada unidade utilizada do referido recurso. Dessa forma, o poluidor terá um custo adicional (ou incentivo adicional) por unidade produzida, possibilitando a escolha de seu nível ótimo de produção e, conseqüentemente, de poluição.

Teoricamente, geram incentivos ao controle da poluição, diminuem o custo social do controle ambiental, e podem também originar receitas. Porém, também há desvantagens em

²³ Em outra versão, mas mesma fundamentação, o Princípio Usuário Pagador também onera os custos das empresas, como é o caso dos instrumentos econômicos de outorga (concessão de uso) e cobrança da água instituídos pela lei 9433/97.

sua implementação, além da semelhança com as políticas de CC relacionada às exigências de monitoramento e fiscalização, seus custos administrativos podem ainda ser mais elevados (SEROA DA MOTTA; YOUNG, 1997).

Caracterizam os instrumentos econômicos: a) a existência de incentivo financeiro; b) a dotação de livre escolha por parte dos agentes (flexibilidade); c) intervenção estatal; e d) o fim último de preservação do meio ambiente. Os IEs podem ser qualificados em dois tipos: incentivos sob a forma de prêmios; e incentivos sob a forma de preços. Os principais instrumentos econômicos são: depósitos reembolsáveis, licenças negociáveis, subsídio e tributação ambiental.

Quando apropriadamente utilizado, os IE podem ser excelentes recursos para que a gestão ambiental suplante muitas barreiras institucionais, pois inserem princípios econômicos na formulação de políticas, diminuindo os custos sociais; tornam os mercados mais eficientes; permitem o debate sobre justiça social e, se necessário, podem gerar receitas para melhorar as instituições. O seu uso, entretanto, não significa independência de instituições fortes nem sobrepõe os instrumentos de CC, mas sim os complementa. Por isso os IE, fatalmente, necessitam de elementos regulatórios e requerem um apoio institucional forte para sua prática.

1.4.1.1 Incentivos perversos

Um IE, embora tenha como objetivo final a melhoria da qualidade ambiental, se aplicado de forma inadequada pode gerar resultado oposto ao pretendido inicialmente. Existem dois tipos de IEs bastante comuns em alguns países e que agem nesse sentido: a cobrança por efluentes e imposto diferenciado por equipamento poluidor.

As cobranças por efluentes emitidos são baseadas, em sua maioria, na concentração de poluentes, o que termina por criar um incentivo para que as empresas captem mais água, a fim de diluir a poluição, o que possibilita o depósito de um volume bruto de resíduos maior. Por sua vez, os impostos diferenciados criam um incentivo para manter os veículos mais velhos sendo utilizados por um período maior. Esse tipo de tratamento fiscal, embora tenha uma preocupação de equidade social embutida, tem como consequência o aumento do consumo de combustíveis, da poluição e dos custos de manutenção. Isso demonstra que ainda é incipiente a experiência e desenvolvimento de IEs adequados.

Além disso, algumas políticas econômicas²⁴ podem ter um viés poluidor, sendo assim de extrema importância a inserção da questão ambiental no ajuste da formulação de um IE. Como exemplos de políticas governamentais que podem afetar direta ou indiretamente o meio ambiente, temos: as orientadas para recursos naturais e infra-estrutura, como as de energia e abastecimento de água, malha viária e outras; as políticas de expansão agropecuária e industrial; as macroeconômicas voltadas para estímulos às exportações, geração de emprego e investimentos; as de conteúdo estruturais como a reforma agrária e as privatizações; e as de objetivo distributivo que estimulam as pequenas empresas, o assentamento urbano, entre outras (SEROA DA MOTTA, 2000).

A ciência das conseqüências ambientais pelo sistema gestor e pela literatura especializada permite a remoção, total ou parcial, desses incentivos perversos ao meio ambiente que afetem a consecução dos objetivos maiores destas políticas. Contudo, pode ainda haver indeterminação de decisão decorrente da incerteza de determinados impactos ambientais vis-à-vis os benefícios propostos.

²⁴ Ver Seroa da Motta (1996) para uma discussão sobre os possíveis impactos da Política Monetária, Comercial e Fiscal sobre a qualidade ambiental.

CAPÍTULO 2

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo se divide em três seções. As duas primeiras tratam sobre os grandes temas de pesquisa incorporada à esta dissertação – política ambiental e inovação, e estrutura de mercado e inovação – e a terceira discute sobre o método de simulação computacional como ferramenta analítica para a temática ambiental, sob diferentes enfoques teóricos.

Política ambiental é um dos muitos fatores que podem induzir um processo de inovação ambiental. Isto é reconhecido pela teoria econômica, e tem sido empiricamente investigado por alguns pesquisadores. Tem sido foco de atenção o estudo do efeito de diferentes instrumentos de política ambiental sobre a taxa e direção da mudança tecnológica associada à estas políticas.

Diferentes linhas de pesquisas têm investigado a influência que os instrumentos de política ambiental exercem sobre o processo inovativo. Assim, a primeira seção se subdivide em três outras de acordo com as linhas de pesquisa: a) modelos teóricos de incentivo para a eco-inovação; b) estudos econométricos sobre os efeitos dos instrumentos de política ambiental sobre a mudança tecnológica; c) estudos de caso e *surveys* sobre a busca da firma por distinguir a influência de diferentes instrumentos de política ambiental, dentre vários outros fatores, sobre a eco-inovação.

A segunda seção constitui uma breve discussão sobre os trabalhos mais importantes que relacionam à capacidade de inovação da indústria com a estrutura de mercado, comprovando que apesar de não ser recente, ainda se constitui um campo de pesquisa vasto.

A terceira seção, que se subdivide em duas outras, relaciona alguns trabalhos que apresentam modelagens de simulação para a análise de curto e longo prazo do resultado econômico-ambiental da política ambiental. Uma subseção explana sobre a modelagem em Equilíbrio Geral Computável (EGC) como ferramenta de avaliação dos impactos da atividade econômica sobre a sustentabilidade sócio-econômico-ambiental, mostrando que não há uma concorrência entre a modelagem proposta neste trabalho e o método convencional. O que ocorre de fato é uma incompatibilização dos fundamentos desse método com o objetivo de uma integração entre economia e meio-ambiente. A outra subseção é brevemente descrito alguns modelos que mais se aproximam ao proposto aqui, em sua abordagem evolucionária, mas que apesar da temática ambiental apresentam objetivos distintos, mostrando-se eficiente apenas na análise de curto prazo. Mesmo em Cavalcanti Filho et.al (2000), cujo trabalho se

aproxima bastante com o modelo proposto por esta dissertação, e onde possível a análise de longo prazo, o estudo da dinâmica industrial se resume à apenas um setor.

Alguns dos trabalhos apresentados nesse capítulo são baseados em Kemp e Pontoglio (2008) e no relatório da OCDE realizado por Vollebergh (2007), além de outros estudos que se constituem boas revisões da literatura, proporcionando uma visão geral do estado da arte da literatura internacional. Para o estudo do caso brasileiro, foram analisados outros trabalhos como Lustosa (2002), Podcameni (2007) e Tahim (2008).

Estas abordagens, construídas sob diferentes metodologias, raramente apresentaram conhecimento umas das outras, como foi demonstrado por Kemp e Pontoglio (2008) numa análise de referência cruzada, constituindo assim uma excelente fonte de comparação dos resultados encontrados. O primeiro grupo de estudos teóricos geralmente não considera as conclusões apresentadas pelos estudos de caso empíricos, desenvolvidos para analisar os resultados gerados por regulamentações passadas. Isto também ocorre para a análise econométrica, mesmo com algumas exceções²⁵. Kemp e Pontoglio (2008) argumentam que os estudos de caso da literatura, mesmo quando seus resultados possam ser subjetivos e de difícil generalização, é uma fonte de evidência empírica necessária sobre os impactos das políticas e dos fatores responsáveis por estes impactos. Tais estudos apontam objetivos que são negligenciados nas duas outras correntes da literatura como a regra de antecipação, os fatores que agem contra a adoção de inovação radical (*timing*, restrição) e a influência do contexto técnico e econômico, tanto sobre a política, quanto sobre as respostas obtidas por estas políticas.

2.1 POLÍTICA AMBIENTAL E INOVAÇÃO

2.1.1 Modelos teóricos de incentivos

O primeiro modelo publicado que incorpora a análise de incentivos dos efeitos da regulação sobre a inovação encontra-se em Ashford et al (1979). Os autores desenvolveram um modelo comportamental que distingue inovação conduzida naturalmente por negócios

²⁵ Dos 26 estudos econométricos avaliados em Vollebergh (2007), 4 se referem a estudos de caso e 7 se referem a resultados de surveys.

daquelas conduzidas por cumprimento à regulamentação. Os avanços inovativos que agem de acordo com interesses nos negócios da firma, mas que surgiram a partir de uma regulamentação são chamados de “ganhos subordinados” (*ancillary offsets*). Esses ganhos foram redefinidos após alguns anos por Michel Porter como “ganhos de inovação” (*innovation offsets*) (PORTER; VAN DER LINDE, 1995a; 1995b). A partir de então, ficou clara a importância de se distinguir a inovação ocorrida por incentivos de avanços tecnológicos (*technology push*), da inovação ocorrida por pressão do mercado (*market pull*). Essa diferença emerge quando a tecnologia limpa (ou *pollution prevention*) se torna a nova meta da empresa que está sobre a pressão de uma regulamentação.

Alguns pesquisadores passaram a avaliar os incentivos à inovação para controle da poluição sob diferentes regimes regulatórios. Estes incentivos são mensurados como redução de custos de três maneiras: a) custos diretos (despesas com equipamentos, custos operacionais); b) associados a perdas (pagamentos realizados pela firma como taxa sobre emissão); e c) associados a ganhos (pagamentos realizados para a firma, como subsídios por redução de emissão ou *royalties* de patentes) (MILLIMAN; PRINCE, 1989, p. 251). A idéia central por trás de tais análises é que independente do regime regulatório, caso se induza uma redução de custos, haverá então uma grande probabilidade de ocorrência de uma inovação para controle da poluição.

A inovação para o controle da poluição é representado como um deslocamento para baixo da curva de custo marginal de redução da emissão. Os poluidores são considerados como maximizadores de lucro, o que significa que a firma poluidora busca inovações em que os ganhos marginais são iguais aos custos marginais da inovação. Geralmente, assume-se que os reguladores possuem informação perfeita sobre as condições marginais da firma (curva de custo marginal e impacto ambiental), o que torna possível o cálculo pelo regulador do nível socialmente ótimo de redução da emissão (antes e após a disponibilidade da inovação).

Milliman e Prince (1989) avaliaram e ordenaram, de acordo com a eficiência, alguns incentivos à inovação ambiental em PP para as firmas poluidoras e já inovadoras, para as firmas não-inovadoras, bem como para seus fornecedores, e que estivessem sob dois diferentes regimes de apropriabilidade tecnológica (com e sem proteção de patente). Os autores avaliaram estas firmas antes e após o controle do órgão regulador. Eles concluíram que, se comparado aos controles diretos (regulamentações proibitivas), os incentivos na forma de taxas sobre emissões e direitos transacionáveis, bem como as licenças e subsídios sobre redução de emissão, exercem mesmo impacto (ou até mesmo superior) sobre a decisão de inovar da firma. Além disso, apenas os impostos sobre emissão e direitos transacionáveis mostraram-se plenamente capazes

de auferir ganhos para a indústria inovadora a partir da mudança tecnológica em todo seu processo de produção, proporcionando incentivos econômicos para a inovação contínua.

A superioridade de instrumentos baseados em incentivos financeiros também foi objeto de estudos posteriores. Fischer et al (2003) afirmou que não é possível a determinação de um ordenamento dos diversos instrumentos de política (impostos sobre poluição, direitos transacionáveis e licenças não negociáveis – *grandfathered*) de acordo com sua eficiência, pois esta eficiência depende dos custos de inovação, da possibilidade de imitação de uma inovação, da curva e nível da função marginal de benefício ambiental, e do número de firmas poluidoras.

Foi realizado por Requate e Unold (2003) e Requate (2005) uma revisão bibliográfica sobre os trabalhos teóricos que avaliaram os incentivos para a adoção e desenvolvimento (incluindo P&D) de inovações impulsionadas por uma política ambiental. Requate (2005) examinou um total de 28 modelos diferentes e conclui que existe grande dificuldade em se definir a superioridade de alguns instrumentos de política sobre outros. Contudo, pode-se partir do ponto em que instrumentos que trabalham com mecanismos de incentivos financeiros apresentam melhores resultados do que as políticas de comando e controle. Requate também observou que alguns aspectos relevantes como inovação nos bens finais, e o conflito entre os incentivos de curto e o longo período, estão faltando nos modelos tradicionais e que precisam ser incorporados na análise.

É importante ressaltar que os resultados destes modelos teóricos são válidos sob certas condições restritivas, e por isso, sofrem limitações relativas à análise do processo inovativo e à formulação de políticas. Os estudos realizados até agora se limitam a análise de incentivos gerados por uma política para a inovação no controle da poluição (negligenciando outros tipos de inovações ambientais), não foram considerados outros incentivos nem restrições tecnológicas.

Os estudos teóricos podem ser criticados por não analisar outras opções de tecnologias que não sejam do tipo EOP, e por falharem em analisar a influência da política na escolha entre várias opções tecnológicas. Contudo, está claro que a política de fato exerce influência na escolha tecnológica, favorecendo algumas soluções e desfavorecendo outras. Regulamentações que literalmente prescrevem uma determinada tecnologia não estimulam o processo de criação de tecnologia limpa nem o estudo de reciclagem de resíduos²⁶. Instrumentos econômicos provavelmente estimulam mais a criação de inovações ambientais

²⁶ Como relatado por Porter (1995a) sobre o sistema norte-americano BAT.

do que regulamentações proibitivas, mas isto não foi investigado pela literatura apresentada acima. Estes estudos detiveram pouca atenção a importantes características das políticas, como a preferência da regulamentação por resultados imediatos, a preferência do órgão responsável pela inspeção por tecnologias do tipo EOP, pois facilita a fiscalização, e a resistência da indústria quanto ao imposto sobre poluição (KEMP; PONTOGLIO, 2008).

2.1.2 Estudos econométricos

Os estudos econométricos, diferentemente dos modelos teóricos apresentados, não detiveram atenção exclusiva sobre as tecnologias end-of-pipe. Analisaram também os efeitos das políticas ambientais sobre os produtos, sobre processos de desenvolvimento de tecnologia limpa bem como a gestão de desperdícios. Porém, também apresentam uma série de limitações. Todavia, ainda se constituem uma importante fonte de informação dos efeitos das atuais políticas.

Jaffe et al (2002) em seu estudo (que não é exclusivamente econométrico), analisou os instrumentos de política baseado no mercado, em vigor nos EUA, e conclui que estes apresentaram significativa superioridade, e impactos de longo prazo positivos (relativos à invenção, inovação, e difusão e aquisição de tecnologia limpa), em relação à abordagem de comando e controle.

Em relatório da OECD (“Impacts of environmental policy instruments on technological change”) realizado por Vollebergh (2007), foi reunido resultados de diversos estudos empíricos recentes. O objetivo foi identificar evidências dos efeitos de diferentes instrumentos de política ambiental sobre a taxa e direção da mudança tecnológica. Como hipótese, trabalhou-se com a superioridade do impacto que os incentivos de mercado têm sobre a taxa e direção da inovação tecnológica se comparado com os incentivos associados aos instrumentos de comando e controle. A principal conclusão do estudo da OECD foi que a regulamentação ambiental realmente exerce grande impacto sobre a mudança tecnológica em geral. É claramente observável a influencia exercida sobre a invenção, inovação e difusão de tecnologias, contudo, a relação causal não é clara.

Em relação à hipótese da superioridade de mecanismos baseados no mercado, constata-se que existe grande dificuldade na comparação dos impactos de diferentes

instrumentos. Isto porque os estudos analisados variam muito na metodologia e nos instrumentos utilizados na determinação de incentivos, e também devido as circunstâncias específicas de cada localidade²⁷ (VOLLEBERGH, 2007, p. 23). É freqüentemente dito nessa literatura que a distinção entre comando e controle e instrumentos baseados no mercado é muito geral e requer mais investigação. Pesquisas futuras sobre o impacto dinâmico das regulamentações ambientais devem focalizar mais na determinação do objetivo dos instrumentos de política (VOLLEBERGH, 2007, p. 28).

Podcameni (2007) não tinha o objetivo de testar a eficácia das políticas, mas sim de verificar as características das firmas que apresentaram uma inovação ambiental. Utilizou um modelo econométrico *Probit*, e a partir de dados da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) de 2003 obteve as características gerais das empresas que declararam ter realizado uma inovação ambiental, no Brasil, no período entre 2000 e 2003. Sua conclusão geral aponta para a confirmação da hipótese apresentada de que as firmas grandes e detentoras de grandes recursos disponíveis para investimento em P&D são mais propensas à inovar. A autora também confirma os ganhos de competitividade obtidos pela firma via inovação ambiental refletida pela redução de custos e melhora da qualidade de bens e serviços. Adicionalmente, também se verificou que a melhora no desempenho competitivo está ligada à decisão da firma de inovar “espontaneamente” do que apenas como cumprimento de normas ambientais. As firmas que realmente inserem a variável ambiental em sua estratégia competitiva mostraram os melhores resultados competitivos.

Sobre a tomada de decisão da firma, Podcameni (2007) afirma que é inquestionável a necessidade de regulamentação ambiental, pois a fiscalização dos órgãos ambientais, como pressão legal, foi definitiva no processo de indução de inovação ambiental pelas firmas. As grandes empresas, que em sua maioria eram empresas exportadoras, mostraram adotar a preservação ambiental em sua estratégia ambiental. Entretanto, em seu trabalho, a análise setorial não se mostrou conclusiva, pois não se descobriu homogeneidade no tratamento das questões ambientais por parte das indústrias de maior potencial poluidor, mesmo sendo todas exportadoras. Esses resultados, de acordo com a própria autora, baseados em estatísticas descritivas, não foram capazes de captar as características de cada setor industrial (como o padrão de concorrência, que exercem pressão sobre a firma para adotarem e gerarem

²⁷ A cobertura geográfica destes estudos se limita, em grande parte (22 dos 26) aos EUA. Apenas 4 trabalhos se referem à experiências européias (French tax, wind turbines, Swedish NO_x e Dutch water effluent charge). Esta limitação é reconhecida pela OECD, que afirma em seu relatório que a comparação com estudos europeus seria útil para a compreensão dos elementos advindos da diferenciação cultural, e suas implicações para a política ambiental.

inovações ambientais), importante elemento para se definir a relação entre competitividade e meio ambiente, o que releva o aprofundamento no tema. Também não foi considerada a análise das instituições, que influenciam diretamente o comportamento dos agentes. A modelagem por simulação computacional permitiria realizar essa caracterização que o trabalho empírico se mostrou insuficiente.

Quanto à aderência dos modelos econométricos a análise da política ambiental, Kemp e Pontoglio (2008) afirmam que os estudos econométricos parecem padecer de três fraquezas metodológicas. A primeira é relacionada à dificuldade de mensuração da política ambiental, devido à dificuldades de incorporação de alguns aspectos (rigidez, cumprimento, diferenciação de padrões ou taxas relacionadas ao tipo de poluidor, e combinação de instrumentos). Para a regulamentação ambiental, a *proxy* mais comum empregada é a PAC (*pollution abatement cost*) que mensura os gastos para se cumprir a legislação (usado por Lanjouw e Mody (1996), Shadbegian e Gray (2005) e Höglund Isaksson (2005)). Como mostrado por Rennings (2000) esta variável não representa uma verdadeira medida exógena, pois o PAC reflete a natureza da resposta da indústria à regulamentação ambiental. Outros estudos (BECKER; HENDERSON, 2000; GREENSTONE, 2002) utilizaram “*attainment status of US counties*” como *proxy* para a rigidez da regulamentação. Brunnermeier e Cohen (2003) usaram o número de inspeções como uma medida para a intensidade da regulamentação. De Vries e Withagen (2005) trabalharam com variáveis *dummy* para os anos em que uma regulamentação ambiental surtiu efeito, o que permitiu a análise da influência de cada regulamentação. Todos os estudos incorrem no problema de mensuração da política ambiental, que consiste em várias regulamentações, acordos ambientais, objetivos, taxas, subsídios e sistemas de emissões transacionáveis.

A maioria dos estudos apresentados trabalham com medidas de controle da poluição (SO₂, NO_x), com algumas poucas exceções que consideram também regulamentação sobre o cloro, carga de efluentes, difusão de eficiência energética em aparelhos eletrônicos em residências ou tecnologias de energia renovável. Estas limitações podem ser vistas como uma forte restrição na determinação de uma conclusão geral sobre os efeitos das políticas ambientais sobre a inovação ambiental.

O segundo problema metodológico diz respeito à mensuração da inovação. Entre os estudos que constam no relatório da OECD, apenas um (NEWELL et al, 1999) trabalha com inovação em produto. Todos os outros estudos trabalham com medidas de atividade de invenção ou outras medidas. Para a inovação ambiental o indicador mais usado é a patente, seguida por P&D ambiental. Esta metodologia termina por criar um viés à favor da inovação

em produto, em detrimento à inovação em processo. Os outros indicadores usados são relacionados às características internas à firma como estoque de conhecimentos ou indicadores econômicos do desempenho da firma como produtividade, investimentos, custos operacionais ou redução de custos marginais. Estes indicadores são amplamente usados na literatura de inovação, no entanto, cada um deles está sujeito a algumas limitações. A influência de alguns fatores relevantes na caracterização da ligação entre política ambiental e inovação não pode ser estabelecido com indicadores gerais como P&D, que é uma medida de insumo, não uma medida de produto, e falha em capturar a pesquisa e inovação realizada fora do setor afetado pela regulamentação. As patentes são o indicador mais usado para a inovação em produto, no entanto eles refletem melhor as soluções EOP, e não se constituem em bom indicador para medir a atividade de invenção na área de tecnologias ambientalmente superiores. A maioria das inovações ambientais não é patenteada²⁸. P&D pode ser um bom indicador para empresas sujeitas à regulamentação, mas a base de dados em P&D ambiental não é disponível a todos, e também não diz nada sobre o tipo de inovação que está sendo desenvolvida.

O terceiro problema metodológico diz respeito à incapacidade dos estudos econométricos em incorporar o aprendizado ao atual processo de tomada de decisão e à incerteza envolvida, bem como se mostram ineficazes em realizar uma análise geral do processo de inovação, cuja trajetória é cumulativa e não-linear (VAN DE VEN et al, 1999). Os estudos analisam estatisticamente o produto do processo de tomada de decisão da firma, e fazendo isso não oferecem uma análise crítica de como os efeitos dependem do contexto técnico-econômico onde os instrumentos são usados e formulados.

2.1.3 Estudos de caso de eco-inovação e *surveys*

A inclusão de estudos de casos para a revisão bibliográfica da literatura especializada contribui para dar um suporte realístico aos efeitos que a regulamentação ambiental exerce sobre o processo de eco-inovação. Parte da explanação das contribuições apresentadas aqui se

²⁸ Como exemplo, Mazzanti e Zoboli (2006b) investigaram os fatores que influenciam a inovação ambiental em um distrito industrial. Aproximadamente 79% das firmas relataram em seu questionário terem adotado inovação ambiental (tanto de processo quanto de produto), mas apenas 2% delas relataram patente.

baseia em revisões já realizadas por Kemp e Pontoglio (2008), Kemp (1997) e Jaffe et al, (2002).

O primeiro trabalho de destaque reconhecido pela literatura que retrata a relação entre política ambiental e inovação foi de Ashford *et al.* (1985). Os autores relataram a história da regulamentação ambiental nos EUA após 1970, e seus impactos sobre a inovação, baseado em dez casos que estavam sob as leis: *Clean Air and Water Act*, *Toxic Substances Control Act* (TSCA), *Occupational Safety and Health Act* (OSHA) e *Consumer Product Safety Act* (CPSA). Para cada caso foi examinado o grau de restrição e o tipo (produto, processo) e grau (difusão, incremental, radical) da inovação predominante na indústria decorrente da regulamentação.

Sob o regime de TSCA, a proibição do uso de PCBs (*Polychlorinated biphenyls*) resultou numa modesta inovação em processo e uma significativa inovação em produto (desenvolvimento de substitutos), conduzida pioneiramente por novas firmas, em detrimento às firmas existentes que possuíam uma tecnologia menos flexível. Um efeito similar, (desenvolvimento de um novo propileno substituto do CFC) foi observado após o veto ao CFC em aerossol em 1978. Visto que já existiam alternativas tecnológicas, essas regulamentações geraram mudanças não inovativas na indústria e resultaram na adoção/difusão de substitutos. Também teve efeito similar o veto ao uso de mercúrio em pinturas à óleo e sua limitação no uso de pinturas em casas sob o regime CPSA. Em todos esses casos, o resultado das regulamentações foi um sucesso parcial na inovação incremental de produto. O mesmo ocorreu com o *Water Act*, que impôs um padrão de efluentes para indústrias emissivas de mercúrio clorohidratado. Como reação, a indústria adotou uma inovação incremental no processo produtivo e no controle da poluição. No caso dos direitos de ocupação de terras (atividade sobre terra nua) sob o regime OSHA, os resultados foram diferentes. O cumprimento da regulamentação imposta foi alcançado através da difusão de tecnologias existentes para a prática do processo produtivo (ventilação e técnicas de isolamento, treinamento dos trabalhadores). No entanto, inovações radicais foram observadas no desenvolvimento de um processo produtivo completamente novo (novo processo de extração de metais). Também se observou a aceleração do desenvolvimento de um novo processo tecnológico na indústria de baterias.

Regulamentações determinando padrões de cloridrato de vinil (para VCM e PVC) aceleraram o processo de inovação incremental na polimerização da fabricação de plástico na indústria, resultando em uma gestão de limpeza por parte das firmas, que combinava o monitoramento e controle dos resíduos. O padrão imposto pelo regime OSHA sobre os

resíduos do algodão foi responsável pela modernização em larga escala da indústria têxtil dos EUA. No entanto, esses avanços não constituíram uma quebra no padrão tecnológico vigente, mas resultaram na difusão de alternativas tecnológicas já existentes em 1960.

As análises dos casos de regulamentação sumarizadas aqui mostram como mecanismos de regulamentação encorajam uma variedade de inovações, tanto de natureza incremental quanto radical. Regulamentações com alto grau de restrição mostraram ser uma condição fundamental na indução de inovação.

Mais recentemente, Christiansen (2001) investigou os efeitos do sistema norueguês de imposto sobre emissão de carbono na indústria petrolífera. A metodologia empregada foi predominantemente qualitativa. O autor aplicou questionários entre os gerentes industriais e profissionais especializados em tecnologia do setor, além de ter revisado documentos oficiais, bem como a literatura acadêmica. O resultado do estudo é particularmente interessante, pois é um dos poucos estudos voltados aos instrumentos de política para a redução do aquecimento global, oferecendo uma análise *ex-post* de um imposto ambiental.

Geralmente, o nível de emissão de CO₂ no setor petrolífero pode ser reduzido através da eficiência energética (diminuição da necessidade de energia no processo produtivo), implantando-se turbinas à gás mais eficientes, trocando-se o combustível fóssil por fontes de energia renovável, adotando-se tecnologias tipo *carbon sequestration* ou reduzindo a combustão (CHRISTIANSEN, 2001, p. 506).

Christiansen (2001) identificou as soluções tecnológicas e inovações institucionais adotadas pelas indústrias de petróleo que operam no *Norwegian Continental Shelf* para reduzir a emissão de carbono. O padrão de inovação observado foi a difusão de tecnologias existentes e mudanças incrementais no processo produtivo. Foram identificados apenas dois casos de inovação radical. Em ambos os casos (tecnologia do tipo *carbon capture and sequestration* e um sistema gerador de eletricidade a partir de ventos costeiros), as inovações foram resultado da busca dessas empresas por novas oportunidades, e a existência de um imposto sobre a emissão de carbono foi apenas mais um, dentre uma série de fatores responsáveis pela busca da firma por estas inovações.

Para Kemp e Pontoglio (2008), um dos melhores estudos da área foi o de Taylor et al. (2005), sobre os determinantes da inovação na tecnologia de controle de SO₂. Este trabalho, extremamente rico em detalhes empíricos, usou diferentes formas de mensuração da inovação (patentes, gastos em P&D, tecnologias, curvas de experiência) para a análise dos impactos das políticas ambientais. Os autores relatam cronologicamente a legislação/regulamentação no controle de SO₂ a partir de 1955 até a década de 1990 nos EUA, especificando as implicações

para o mercado de *Fluegas Desulphurisation* (FGD), juntamente com o relato cronológico das descobertas do P&D&D público. O objetivo do trabalho foi estabelecer a influência de 3 tipos de políticas sobre a inovação: a) regulamentação para o controle de SO₂; b) apoio público à pesquisa; e c) o sistema de direitos de emissão transacionáveis, introduzido a partir do *Clean Air Act Amendments* (CAA) em 1990. O efeito dessas políticas foi, por sua vez, analisado de 3 formas: a) análise econométrica utilizando informação sobre a atividade de patente e a regulamentação do governo; b) entrevistas com vendedores e especialistas em tecnologia; e c) análise do relatório anual do simpósio em SO₂ onde os vendedores de FGD discutem com o governo e pesquisadores de universidades a utilidade do serviço público no controle da poluição. Os autores concluíram que atividade de patente precedeu o impacto da atual regulamentação sobre a inovação no controle em SO₂ ocorrida entre 1970-1990. Uma segunda conclusão interessante é que as regulamentações limitaram a invenção em tecnologias de pré-combustão. A patente nestas tecnologias se extinguiu após a introdução em 1979 de regulamentações de Padrões de Desempenho de Nova Fonte (*New Source Performance Standards*). O sistema de direitos de emissão transacionáveis introduzido em 1990 não restaurou o nível de patentes de tecnologias em pré-combustão. Na realidade, a implementação desse sistema mostrou baixo impacto sobre a invenção, mas afetou o ordenamento das escolhas de tecnologias disponíveis.

Os resultados do estudo de Taylor et al (2005) apareceram dois anos após a publicação dos efeitos do *Clear Air Act* sobre a inovação no controle do enxofre por Popp (2003). Usando dados de patentes e dados sobre filtros instalados, Popp descobriu que o sistema de direitos de emissão transacionáveis não levou a um aumento de patentes de tecnologias para o controle do enxofre, mas observou que a eficiência dos filtros instalados era muito maior que os filtros instalados antes de 1990, levando-o a concluir que o ETS levou a indústria em direção a mudança tecnológica (em direção a controles mais eficientes). Este resultado está de acordo com o pensamento de que os instrumentos econômicos oferecem um grande incentivo à inovação, especialmente inovação na maior eficiência de controle de poluição, tal como demonstra a revisão bibliográfica realizada por Jaffe et al (2003) e Vollebergh (2007).

Yarime (2003) realizou uma análise detalhada sobre a política no Japão relacionada ao controle da emissão de mercúrio pelas indústrias de *Chlor-Alkal*, e as tecnologias adotadas em decorrência dessas regulamentações, apontando seus impactos positivos e negativos. Após a descoberta de doenças relacionadas à emissão de mercúrio na região de Minamata (Japão), causadas pelo consumo de peixe contaminado com mercúrio, as indústrias de *Chlor-Alkali* tornaram-se alvo (tardio) de atenção pública. A partir de então, o governo japonês estabeleceu

um Conselho para a mensuração dos danos, que decidiu que toda indústria deveria suspender os processos produtivos que utilizassem mercúrio. Em novembro de 1973, este Conselho determinou que 1/3 das firmas com processos baseados em mercúrio deveriam ser convertidas em *diaphragm process* (a única alternativa tecnológica naquela época) com data limite até Março de 1978, e 2/3 das indústrias até setembro de 2005. O tempo de adesão imposto deixou a indústria sem alternativa tecnológica, pois a única opção disponível na época era intensiva em energia e produzia uma soda de baixa qualidade. Como resultado, foi relatado rápido progresso na indústria no desenvolvimento de um novo processo produtivo para soda e cloro (*ion exchange membrane process*), que após a flexibilização do governo na extensão da data limite para 1984 (para o primeiro terço das firmas), se tornou a tecnologia escolhida pela indústria após alguns anos. Analisando os impactos da regulação sobre as tecnologias (tecnologias limpas *versus end-of-pipe*) para o controle da emissão de mercúrio, Yarime (2005) conclui que a regulação inicialmente força a adoção de uma solução sub-ótima.

Sartorius e Zundel (2005) estudaram a influência da variável tempo sobre o impacto exercido pela política ambiental na dinâmica técnico-econômica para vários casos²⁹. Como conclusão, tem-se que o tempo como variável estratégica é de suma importância para o sucesso (ou falha) de uma política ambiental orientada para a inovação.

Os trabalhos descritos acima empregaram diferentes conjuntos de ferramentas metodológicas e de fonte de dados, a saber: entrevistas com especialistas, entrevistas com empresas inovadoras (imitadoras e criadoras) e documentos oficiais. Observa-se que a relação política, meio-ambiente e inovação é bastante complexa para que se possa tirar conclusões generalizadas, que não sejam restritas a casos específicos. Ainda é necessário a coleta sistemática e em maior escala de informações, assim passamos para a análise de *surveys*.

A análise de *surveys* pode ser usada para aprender sobre a influência de políticas específicas, e os aspectos dessas políticas sobre a inovação ambiental. Os *surveys* também podem ser usados para estudar a influência de um conjunto de variáveis que influenciam a escolha da inovação (como as características internas da firma e do mercado como em Mazzanti e Zobolo (2006b) e em Del Rio González (2005)), ou podem ajudar a distinguir os determinantes de acordo com o tipo de inovação ambiental adotada (processo/produto/EOP, como em Frondel et al (2007)). Os *surveys* podem se referir a um nível micro de análise (um

²⁹ Os casos examinados foram o veto às tecnologias causadores de danos à camada de ozônio, a regulamentação sobre a produção de cloro, a redução de poluição do ar por automóveis, a promoção de tecnologias fotovoltaicas, o caso do *Californian Zero Emission Vehicle Mandate*, o veto ao EDTA (*ethylenediaminetetraacetic acid*), a promoção de tecnologias ambientalmente eficientes, a segurança de implantação de uma indústria nuclear.

único setor industrial) ou podem ter um recorte nacional ou multi-nacional (como em OECD, 2007). O tamanho da análise influencia diretamente a generalização dos resultados.

Becker e Engelmann (2005) analisaram tantos os fatores que facilitaram quanto aqueles que retardaram a adoção de inovação que fossem capazes de reduzir a poluição das águas no oeste da Alemanha por parte indústrias químicas. Os autores selecionaram um conjunto dos supostos incentivos e barreiras, baseados em entrevistas com especialistas e em revisão bibliográfica. A partir de uma amostra aleatória de 80 empresas, aplicou-se um total de 31 questionários que investigava as motivações que conduziam à decisão de inovar. Dessas empresas, 12 relataram a implementação de tecnologia EOP e 16 afirmaram a adoção de tecnologia integrada à produção entre 1996 e 1998. Mudança integrada ao processo foi à resposta mais comum, e uma mudança no insumo utilizado (o abandono do uso de solventes, por exemplo) raramente ocorreu. Quanto à importância relativa dos fatores determinantes da inovação, a regulamentação ambiental provou ser o fator mais importante para as duas categorias de tecnologia ambiental (EOP e PP), seguido de ganhos de reputação e redução de custos. O cumprimento das exigências da regulamentação provou ser a barreira mais significativa para a continuação da inovação em EOP (ver quadro 1).

Razões para realizar Inovação	End-of-pipe	Inovação Integrada
Resposta à regulamentação ambiental	83%	80%
Reputação vis-à-vis diferentes stakeholders	50%	47%
Redução de custos	-	27%
Razões para parar a atividade inovativa		
Cumprimento dos padrões de emissão	55%	46%
O processo produtivo já é eficiente em custos	-	50%
Implementação de tecnologias integradas são mais caras do que tecnologias EOP	34%	-
Período de Pay-back muito longo	24%	25%
Foco no negócio	17%	18%

Quadro 1: Incentivos e barreiras à inovação
Fonte: Becker e Engelmann (2005).

O trabalho de Mazzanti e Zoboli (2006b) sobre as firmas manufatureiras na região de Emilia Romagna no norte da Itália analisa tanto o resultado da eco-inovação quanto de melhoramentos de processos. Este estudo obteve informações interessantes sobre o foco da inovação ambiental (emissão, desperdício, substituição de insumo, energia), sobre a fonte de inovação e a relação entre insumos, estrutura organizacional e produto. Redução de emissão foi o desafio mais importante (para 49% das empresas eco-inovativas) seguida por energia

renovável (46%), gerenciamento de desperdício (42%) e substituição de insumo (28%). A inovação desenvolvida pelas próprias firmas são mais relacionadas a substituição de insumo (62% das firmas inovadoras) e menos com a redução da emissão (34%); a colaboração com outras firmas mostrou-se de suma importância. Este trabalho demonstrou a existências de evidências de *networking* para a eco-inovação e estabelecendo uma relação positiva entre a inovação organizacional e a inovação tecnológica. A principal contribuição foi a conclusão geral de que eco-inovação não se resume a controle ou redução da poluição.

Fronzel et al (2007) estudaram a influência de vários instrumentos de política, na Alemanha, sobre a escolha entre solução EOP e mudanças integradas ao processo. A rigidez da política mostrou-se como o determinante mais significativo da decisão de inovar. A regulamentação é importante especialmente nos casos de solução EOP mas menos importante para tecnologia limpa, cujo principal fator determinante é a redução de custos. O estudo não encontrou impacto significativo para os instrumentos baseados em mercado. Esses resultados estão de acordo com as conclusões dos estudos de caso (especialmente com os resultados de Ashford et al., 1985) mas diferem das conclusões dos modelos teóricos.

A OECD (2007) investigou a política ambiental e seus efeitos sobre o gerenciamento ambiental, desempenho e inovação. Algumas análises econométricas foram consideradas, escolhidas com base na aplicação de diferentes técnicas para uma base de dados de *manufacturing facilities* em sete países da OECD³⁰. Restringimos a análise do trabalho ao que diz respeito à inovação ambiental. Sobre este aspecto investigou-se: i) onde se investiu em um processo produtivo “limpo” em vez de uma solução EOP; e ii) P&D ambiental.

A grande maioria dos respondentes, sendo grande parte do Japão e França, relatou que as mudanças ocorridas a fim de se cumprir as regulamentações ambientais estão mais ligadas à mudanças no processo produtivo do que a soluções EOP (OECD, 2007 p. 57). A Alemanha registrou a maior proporção de solução EOP. Para tecnologias limpas, os principais fatores indutores são redução de custos, instrumentos flexíveis e localidade da instituição responsável pelas questões ambientais. Regulamentações diretas (padrões tecnológicos) aumentam a probabilidade de investimento em EOP, enquanto impostos, padrões de desempenho e veto sobre alguns insumos favorecem a introdução de mudanças no processo produtivo (OECD, 2007, p. 10).

Os investimentos em P&D ambiental são definidos de acordo com o objetivo do

³⁰ A base de dados relaciona observações de aproximadamente 4200 *facilities* com mais de 50 empregados em todo o setor manufatureiro do Japão, França, Alemanha, Noruega, Hungria, Canadá e EUA. A amostra selecionada continha mais de 17 000 *manufacturing facilities* em Janeiro de 2003. A taxa de respondentes foi de 24,7%, e eram geralmente *chief executives officers* (CEOs) e gerentes ambientais.

desempenho ambiental. Todavia, a distinção entre P&D ambiental e não-ambiental encontra uma séria de limitações e dificuldades. Como consta no relatório da OECD (2007, p.61) “*the objective of a research attempt may not be the same as the outcome and country differences may be reflected in the definition of what is environmental in nature*”. Além disso, como sugerido por Ashford (2000), a distinção entre “*main business innovation*” e “*compliance-driven innovation*” desaparece quando a regulamentação ambiental é formulada com o objetivo de induzir à firma à uma solução PP ou produção limpa. Os principais indutores para P&D ambiental mostraram ser políticas restritas (rígidas) e o tipo de instrumento empregado. Foram desenvolvidos diferentes modelos econométricos, alguns demonstrando evidência de uma relação positiva de instrumentos de política flexíveis, outros que política restritiva é o principal fator determinante de P&D ambiental, com os instrumentos de política tendo apenas uma influência indireta sobre o gasto ambiental. Este estudo também conclui que o tamanho da firma importa, pois as facilidades inerentes à uma grande empresa beneficiam o P&D ambiental.

A restrição da política mostrou ser a chave principal para ambos os desempenhos ambientais, produção limpa e P&D verde. A mensuração usada para a restrição da política é a “percepção de restrição ambiental” por parte dos respondentes. Essa restrição ambiental da política percebida pelos respondentes mostrou ser fracamente correlacionada com o número de inspeções, sugerindo que as inspeções (usadas por Brunnermeier e Cohen, 2003) não são uma boa forma de mensuração. Quanto a influência exercida por diversos tipos de instrumentos, o estudo conclui que a escolha do instrumento de política não afeta diretamente o desempenho ambiental, que é mais relacionado com a inovação e o P&D ambiental. Contudo, observou-se que instrumentos mais flexíveis são mais capazes de conduzir a uma solução em tecnologia limpa do que EOP.

Como se afirmou anteriormente, o conceito de inovação ambiental inclui um conjunto de possibilidades como produtos “verdes”, que são produzidos com menor quantidade de insumos ou sem substâncias tóxicas, são menos intensivos em energia e apresentam menor desperdício produtivo. A escolha por produzir produtos “verdes” foi estudado por Türpitz (2004), que desenvolveu um estudo de caso para seis empresas³¹, baseado em entrevistas e análises de documentos (relatórios ambientais, balanços ecológicos, etc.) que consideravam determinantes tecnológicos, políticos, mercadológicos entre outros, para a inovação ambiental.

³¹ Siemens Medical Solutions, Toshiba Europe GmbH, Schott Glas AG, Continental, Ergo-Fit, Ensinger Mineral-Heilquellen.

Türpitz concluiu que a regulamentação pareceu ser o principal indutor da inovação ambiental em produto: o cumprimento das exigências da regulamentação ambiental e a antecipação de regras futuras foram o principal incentivo entre as empresas que realizaram inovação em produto. As entrevistas com os gerentes responsáveis pelo desenvolvimento do produto “verde” revelaram que as informações sobre as opções de viabilidade tecnológica e organizacional podem vir tanto do início da cadeia produtiva (fornecedores) quanto do fim (usuários). Como regra para os sinais do mercado, a análise demonstrou que sua influência varia por setor e que inovadores ambientais frequentemente enfrentam obstáculos comerciais. O desejo dos consumidores de pagar por um produto “verde” mostrou ser baixo e fortemente dependente de uma consciência ecológica.

Lustosa (2002) trabalhou com o conceito de inovação ambiental como integrante das estratégias da empresa. A autora buscou evidências empíricas a partir dos dados da Pesquisa da Atividade Econômica Paulista (PAEP), da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), sobre os processos de reestruturação e seus efeitos sobre a economia do estado de São Paulo; fez uso também da pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), sobre competitividade da indústria brasileira. Devido à carência de dados específicos, utilizou os aspectos ambientais tratados nessas pesquisas comparando-os com outras variáveis referentes às empresas e setores. Lustosa (2002) mostra que as evidências empíricas para a indústria brasileira apontam que a regulamentação ambiental como pressão legal é o principal fator indutivo de adoção de tecnologias ambientais.

Quanto ao quesito competitividade Lustosa (2002) afirma que as empresas multinacionais demonstraram possuir um maior compromisso no quesito ambiental. As grandes empresas de fato consideram o meio ambiente como integrante de suas estratégias competitivas, sendo um incentivo à inovação. Todavia, a maioria das empresas, independente do tamanho, também considera a variável ambiental em uma posição de crescente importância nas suas estratégias competitivas. Neste universo, as empresas mais inovadoras são naturalmente mais predispostas às inovações ambientais, cuja solução está intrinsecamente ligada à fonte de inovação. Por exemplo, as empresas de alto potencial poluidor sofrem maiores impactos da legislação, do mercado, e pressão social, do que as empresas menos poluentes.

Nesse contexto, devido à grande dificuldade de generalização do comportamento da relação meio ambiente e competitividade, Lustosa (2002) enfatiza a indústria do petróleo numa abordagem sistêmica de complexos industriais e cadeias produtivas, buscando caracterizar o processo de difusão de inovações tecnológicas e a concorrência. Conclui que as

políticas direcionadas ao setor geram apenas mudanças no processo produtivo, devido ao seu caráter adaptativo ao invés de transformador. Os projetos ambientais da indústria do petróleo tem se concentrado em dois aspectos: o monitoramento e o tratamento de final de tubo (end-of-pipe).

Quanto ao investimento em P&D da indústria do petróleo brasileira Lustosa (2002) aponta a necessidade existente no país, de assim como tem ocorrido nas nações mais desenvolvidas, de se incluir um novo paradigma tecnológico no programa de pesquisa brasileiro, de modo a incentivar o processo de mudança tecnológica em direção à tecnologias limpas.

Outra pesquisa empírica sobre o mesmo tema pode ser encontrada em Tahim (2008), em que aborda a dinâmica produtiva e inovativa de arranjos produtivos locais (APLs) do setor primário no contexto da inovação ambiental como fator de competitividade. Foi utilizado estudo empírico (questionário aplicados em pesquisa de campo) sobre os APLs de carcinicultura do Estado do Ceará, caracterizados na pesquisa como possuidor de baixa capacidade de inovação, ainda baseados no *learning-by-doing*, e vantagens competitivas ainda extremamente relacionadas à chamada competição espúria.

Tahim (2008) demonstra que 67% das empresas, em média, afirmaram ter adotado tecnologia ambiental apenas em cumprimento à legislação ambiental. Não houve criação de vantagens competitivas decorrentes desta nova tecnologia, e para esses empresários, isso significou apenas aumento de custos. Fatores como reduções de custos, exigências do mercado e pressão social, que são as principais razões para a inserção da variável ambiental nas estratégias das grandes empresas (quando o item reputação passa a integrar os ativos da empresa) não demonstraram ter influência sobre o comportamento do empresário. O tipo de política praticada mostra-se insuficiente para a formação de uma postura pró-ativa.

Como visto a conduta das empresas e dos setores industriais brasileiros quanto ao dilema relativo às questões ambientais e sua competitividade tem sido objeto de estudos recentes. Segundo Lustosa (2002), as evidências empíricas ficam restritas a pesquisas em outras áreas, que incluíram um capítulo sobre meio ambiente, ou baseada em estudos de caso, que não permitem obter resultados conclusivos sobre as hipóteses levantadas pela literatura. Há, portanto, uma grande lacuna de dados específicos e levantamentos sistemáticos sobre o tema.

2.2 METODOLOGIAS DE MODELAGENS: CONVENCIONAL E HETERODOXA

A questão ambiental não é um novo campo de pesquisa exclusivo da heterodoxia. Böhringer (2004) trata da avaliação de impactos sobre a sustentabilidade econômica utilizando o método de Equilíbrio Geral Computável (EGC). O autor defende a idéia de que este tipo de modelagem é a metodologia mais indicada para o estudo do tema.

Contudo, um artigo crítico sobre essa abordagem foi encontrado em Scrieciu (2006) numa ampla discussão sobre as incoerências atribuídas à compatibilização entre as hipóteses requeridas por este tipo de modelagem e as interações multidimensionais, dinâmicas e complexas entre políticas e sustentabilidade.

A modelagem em EGC pode gerar bons resultados, mas isso se adequadamente usado, pois representa uma poderosa simulação para análise, com um rigoroso e consistente arcabouço teórico. Este método é mais eficaz dentro dos lineamentos para que foi originalmente criado – comparações de médio prazo dos impactos das políticas de choque sobre mudanças nos preços relativos, realocação dos fatores e redistribuição do produto setorial. Os números gerados são úteis quando é necessária uma estimação agregada, e apenas quando tais estimações são usadas para estabelecer uma significância e ordem relativa da magnitude potencial dos impactos das políticas de indução.

Scrieciu (2006) debate as bases do desenvolvimento sustentável – economia, meio ambiente, e sociedade – nos termos seguintes. Para uma dimensão econômica de uma avaliação ambiental, o método de EGC não se adéqua devido a hipótese inicial de um agente representativo, sendo seu comportamento e efeitos indutivos de políticas analisado como um padrão e estendido a análise para toda a sociedade. Não cabe aqui realizar mais uma exaustiva crítica aos fundamentos da teoria neoclássica, mas vale ressaltar que é justamente por causa desses fundamentos, que é impossível compatibilizar meio ambiente à modelagem de EGC devido a visão sistêmica e multidisciplinar requerido pelo enfoque econômico para a questão ambiental.

Quanto a dimensão ambiental captada pelo método de EGC, este mostra-se inadequado também por não considerar a incerteza relativa às mudanças na natureza (e.g. mudanças climáticas). Além disso, por trabalhar com agregados, o EGC torna-se também incapaz de captar as conseqüências locais de um impacto ambiental, que pode mostrar-se

maiores que suas conseqüências para a economia como um todo (os impactos para a economia global são percebidas em um prazo mais longo).

Relativo à dimensão social do tripé do desenvolvimento sustentável, o EGC também se mostra uma ferramenta pobre de avaliação porque desenvolvimento social é vinculado à crescimento econômico, não analisando variáveis qualitativas tão importantes ao desenvolvimento de longo prazo como educação, saúde e distribuição de renda. Quanto à isso, Scriciu (2006) diz que:

CGE models inherently assume pro-poor growth and, consequently, poverty reduction largely depends on the magnitude of the growth elasticity of poverty that could be inserted into this type of models (even though there is no such clear-cut relationship between poverty and growth in the empirical literature).

Ackerman (2005) também afirma que a modelagem em EGC assume que crescimento econômico conduz a redução da pobreza. Nesse aspecto também é cabível a crítica referente ao agente representativo. Segundo Scriciu (2006) essa modelagem pode gerar resultados distorcidos e sugestões inapropriadas de políticas.

Algumas críticas adicionais à modelagem de EGC particularmente elevam as vantagens da modelagem evolucionária. A dificuldade de implementar dinâmica com mudança técnica endógena nos modelos de EGC, cruciais para análise de políticas voltadas à questão ambiental tem sido recentemente enfatizado na literatura de modelagem (KÖHLER et al, 2006; BARKER, 2004; BARKER et al, 2002). A maioria dos modelos EGC assume progresso técnico exógeno, e quando tal processo é endogeneizado nesta abordagem, é feito de forma bastante limitada e restrita. Köhler et al (2006 apud SCRIECIU, 2006) avaliaram a eficácia de várias abordagens em modelagem no tratamento de progresso técnico endógeno e *climate mitigation economics* e concluíram que o EGC se mostrou com as mais sérias dificuldades. O estudo afirma que EGC oferece melhores respostas na resolução de problemas com um ponto de máximo único, que é compatível com funções de produção com retornos constantes ou decrescentes de escala, mas geralmente incompatíveis com retornos crescentes.

Scriciu (2006) afirma que outras abordagens podem mostrar-se mais adequadas para a modelagem de mudança técnica, transição de trajetórias e ajustamento de custos para avaliar a sustentabilidade ambiental de atividades produtivas.

Ademais, existem vários trabalhos que mostram que o sistema ecológico raramente apresenta um comportamento de equilíbrio, fato que por si só nos conduz ao questionamento

da idéia de equilíbrio geral e da hegemonia dos modelos neoclássicos de precificação dos ativos ambientais (PATTERSON et al, 2006).

Iniciando a revisão de alguns trabalhos que apresentaram uma modelagem alternativa ao EGC, Carillo-Hermosilla (2006) desenvolve um modelo do tipo *agent-based* e aplica o conceito evolucionário de mudança tecnológica para políticas ambientais e de sustentabilidade. Seu modelo é capaz de demonstrar quando uma tecnologia ambiental inferior assume o efeito *lock-in* dentro de um sistema econômico, contribuindo para apontar os casos em que a intervenção pública é necessária para se atingir uma meta ambiental (via progresso técnico) superior.

Barker et al (2006) também apresentaram uma modelagem alternativa ao EGC em seu modelo pós-keynesiano de simulação dinâmica macroeconômica não-otimizadora baseado em séries históricas. Esse se mostrou capaz de capturar uma dinâmica de curto prazo, incorporar mudança técnica endógena e trajetórias de ajuste. Contudo, ambos os métodos calibração/EGC e estimação/econometria enfrentam problemas no longo prazo, onde se espera mudanças significativas na estrutura econômica (Köhler et al., 2006).

Por fim, Cavalcanti Filho et al (2000) se constituíram no modelo mais próximo à modelagem proposta neste trabalho. Os autores, através de simulação computacional em um modelo de apenas um setor industrial, testaram a hipótese apresentada pela literatura que as firmas maiores, com altos investimentos em P&D, alto nível de pessoal qualificado, e alto nível de informação, são mais propensas à adotarem tecnologias limpas. A variável determinante do comportamento das firmas é, nesse caso, a preferência do consumidor por um produto “ecologicamente correto” estando ele disposto a pagar um preço mais alto por aquele produto que tivesse sido produzido com tecnologias limpas. Cavalcanti Filho et al (2000) procuraram verificar, através do parâmetro ‘preferência pela ecologia’ dos consumidores, como seria afetada a evolução do *market share*, os gastos com energia e a trajetória da demanda total do mercado. Os resultados corroboraram com a hipótese testada, a ‘preferência pela ecologia’ conduz à uma concentração industrial, pois as grandes firmas é que se mostraram mais capacitadas em adotar a questão ambiental como estratégia competitiva, gerando lucros de monopólio, e aumentando as assimetrias existentes entre elas e as firmas menores.

CAPÍTULO 3

3 O MODELO MKS

O modelo MKS, desenvolvido por Cavalcanti Filho (2002), sugere a Hipótese de Expectativas Adaptativas Evolucionárias (HEAE), derivada da Hipótese de Instabilidade Estrutural (HIE), como fundamento teórico consistente para o procedimento dos agentes econômicos durante seu processo de formação de expectativas de curto e longo prazo.

A HEAE é definida pelo autor como o processo de tomada de decisão por agentes que, apesar de limitados em seu conhecimento e na capacidade de gerar e processar informações, o fazem por meio da interação de um triplo processo evolucionário:

- a) tendo como unidade de seleção os ‘tipos e/ou fontes de informações’, o primeiro processo evolucionário exibirá um mecanismo de introdução de ‘novidades’ capaz de gerar/absorver ‘novas’ informações ao seu estoque prévio de conhecimentos, sejam estas geradas endógena ou exogenamente ao agente; exibirá também um mecanismo *seletivo tal que este agente selecione* o ‘subconjunto’ de fontes de informações ‘novas’ e ‘velhas’ que sua capacidade cognitiva limitada permite absorver e processar;
- b) estabelecidas e selecionadas as ‘fontes e/ou tipos’ de informações relevantes para o processo de tomada de decisão, um segundo processo evolucionário determinará a ‘magnitude ou valor’ das variáveis que representam estas fontes e/ou tipos de informações, uma vez que, de um lado, uma mesma fonte de informações, ao longo do tempo, pode fornecer diferentes medidas representativas da ‘intensidade ou escala’ do conteúdo da informação e, por outro lado, distintas fontes de um mesmo tipo de informação podem indicar ‘magnitudes’ distintas para este mesmo ‘tipo’ de informação. Um processo seletivo deverá determinar a ‘magnitude representativa’ deste mutável conjunto de ‘valores’ para cada um dos ‘tipos’ de informações previamente selecionados;
- c) por fim, uma vez que o agente deve, a cada ‘tomada de decisão’, avaliar o ‘peso do argumento’ representado por cada uma das ‘magnitudes representativas’ destas informações previamente selecionadas, então, a cada período um terceiro processo evolucionário atuará para determinar a ‘magnitude’ destes ‘pesos do argumento’. Este processo se dará por meio da introdução de ‘novidades’ a outro conjunto de informações previamente existentes e, sobre este distinto e modificado ‘conjunto de informações’ um mecanismo de seleção determinará os ‘pesos’ que o agente atribuirá a cada um dos elementos deste conjunto. (CAVALCANTI FILHO, 2002, p. 66- 67)

Trabalha-se nesse modelo com a integração teórica e formal da preferência pela liquidez de Keynes, com os processos de inovação tecnológica de Schumpeter, ambos os fatores muito influentes para as decisões de gasto financiadas por crédito, sendo este a principal fonte geradora de instabilidades macrodinâmicas.

Cavalcanti Filho (2002) formaliza e demonstra as hipóteses e os resultados da teoria através de um modelo matemático (de simulação computacional) constituído por uma

indústria (com setores de bens de capital, matérias-primas, consumo básico e supérfluo), uma bolsa de valores onde se transacionam as quotas acionárias das firmas industriais, um sistema bancário (fornecendo crédito e emitindo títulos), e um setor público formado pelo Banco Central (determinando a taxa de juros básicas e negociando títulos do governo) e variáveis de gasto público (operacional e financeiro) e de receita tributária.

A discussão do modelo aqui aborda a explanação das propriedades formais e sua dinâmica, resumindo os elementos básicos para o entendimento do modelo, enquanto ferramenta de análise para as hipóteses testadas. Os princípios teóricos, assim como a arguição do processo de formação de expectativas de curto prazo sob instabilidade estrutural, bem como o processo de formação de expectativas de longo prazo sob mesmas condições encontram-se em Cavalcanti Filho (2002).

3.1 PROPRIEDADES FORMAIS DO MKS

O MKS possui as seguintes características básicas:

- a) Simulação computacional;
- b) Multissetorial;
- c) Auto-organizativo

3.1.1 Simulação computacional

As formas auto-organizativas imersas na geração, mutação e difusão de tecnologias e comportamentos, em toda a complexidade presente no mundo real, gera fenômenos completamente inesperados e não passíveis de prévia identificação. Essas prévias identificações são realizadas geralmente a partir dos elementos que constituem esse fenômeno, tais como ‘propriedades emergentes’ (padrões comportamentais complexos e espontâneos) e ‘*punctuated equilibria*’ (períodos de relativa estabilidade comportamental, divididos por períodos de transição e desordem)³².

³² Ver Dosi e Metcalfe (1991).

As soluções encontradas, por meio da simulação computacional, tornam possível manter a complexidade organizacional e observar as trajetórias evolucionárias dos comportamentos, tecnologias e desempenho das firmas, possibilitando medir a sua sensibilidade a mudanças nos parâmetros das equações que compõem o sistema bem como a robustez dos padrões encontrados.

As técnicas de simulação computacional, assim como todos os métodos de formalização teórica, também requerem o uso de restrições sobre a forma que os processos assumirão. Embora este método gere resultados quantitativos, vale advertir que o cerne da análise são os aspectos qualitativos.

As técnicas computacionais impossibilitam realizar análises assintóticas por dois motivos (HOFBAUER, 1988, p. 14):

- a) sendo um sistema dinâmico, a sensibilidade às condições iniciais torna o limite tecnológico na precisão dos resultados computacionais um fator de ‘desvio’ entre as trajetórias teoricamente determinadas e o ‘cálculo’ dos valores destas mesmas trajetórias efetuado pelo computador; este ‘desvio’, obviamente, é crescente com o número de períodos que compõem uma simulação, o que reduz a confiabilidade dos resultados quantitativos e desloca a análise para os aspectos qualitativos exibidos por estas trajetórias;
- b) mesmo que não houvesse os ‘desvios’ discutidos acima, o ‘horizonte temporal’ de qualquer simulação, por maior que seja a capacidade computacional, não é capaz de substituir a noção de ‘limite’ teórico; isto significa que as propriedades assintóticas devem ser analisadas em termos das equações específicas que compõem o sistema dinâmico e não por meio do estabelecimento de um número ‘suficientemente grande’ de períodos de simulação.

Keen (1995) desenvolveu uma versão goodwiniana para a “hipótese de instabilidade financeira” minskyana, e faz o seguinte comentário sobre esta característica da modelagem de dinâmica não -linear:

While time in this model is clearly historic [...], it is in no way intended to match actual time. The objective of the modeling is to capture aspects of the cyclical behavior and stability properties of an actual economy, but not accurately quantify this behavior. One of the lessons of nonlinear dynamics is that such accurate quantification is in fact impossible. The emphasis of meddling therefore shifts from prediction to simulation.

Quanto à este aspecto, Cavalcanti Filho (2002, p.44) comenta:

Felizmente para os modelistas, parâmetros teóricos robustos permitem utilizar as técnicas computacionais minimizando a relevância dos desvios quantitativos, de tal forma que não haja deturpação dos resultados qualitativos. O principal parâmetro reside na definição do conteúdo teórico de cada um dos ‘períodos’ de uma simulação: a especificação do conjunto de processos e fenômenos teóricos que compõem um ‘período’ e de sua interdependência com os processos e fenômenos ocorridos em ‘períodos’ passados e ‘esperados’ para o futuro permite definir, simultaneamente, o ‘intervalo de tempo’ teórico que este ‘período’ representa e, assim, os limites mínimos necessários para que processos dinâmicos (i.e., interperíodos) possam realizar-se.

3.1.2 Modelo multissetorial

Um objeto evolucionário, como o sistema econômico, se compõe de subsistemas que encontram endogenamente a motivação para a mudança. O crescimento desse tipo de sistema é acompanhado de três processos: a) crescimento desproporcional de seus sub-sistemas; b) mudança no 'material' que o constitui; c) ampliação na complexidade de sua estrutura.

Não é comum na modelagem econômica o tratamento multissetorial de uma economia. Geralmente os pesquisadores utilizam-se de hipóteses de economias com apenas um setor e uma função de produção agregada, ampliando para dois setores (um moderno e um atrasado). Cavalcanti Filho (2002, p. 44) defende que “o caráter multissetorial não representa uma complicação desnecessária, como freqüentemente é argumentado ao contrário, é essencial para caracterizar a dinâmica evolucionária”.

Cimoli e Canuto (1997) possuem um modelo multissetorial, mas em bases teóricas diferentes das trabalhadas aqui. Eles estudam padrões de especialização setorial estatisticamente (os setores não se relacionam e não há mudança endógena).

A base da modelagem do MKS encontra-se em Possas (1983), que apresenta uma abordagem multissetorial, cuja dinâmica obedece ao princípio da demanda efetiva. Nesse modelo é possível verificar como a trajetória da renda e do emprego, tanto setorial quanto agregadamente, são determinadas pelas decisões de produção e investimento. Contudo, por não incorporar mudança técnica endógena e por não tratar sua microdinâmica em termos de firmas, mostrou-se insuficiente para responder as questões levantadas neste trabalho.

Cavalcanti Filho (2002) propõe então um modelo composto por três subsistemas:

- a) a indústria, composta por quatro setores com distintas características de produtos, custos, preços, relações capital-trabalho e capital-produto, gastos com P&D, oportunidades de progresso tecnológico, número de firmas e relações inter-setoriais (fornecedor-usuário);
- b) um sistema bancário, composto pelo Banco Central e por um Sistema Bancário (SB) comercial;
- c) um mercado financeiro, composto por *rentiers*, pela administração financeira das firmas industriais e pelo SB, determinando preços e rentabilidade das quotas acionárias negociadas em uma ‘bolsa de valores’ e quantidade e taxa de juros dos títulos emitidos pelo SB.

3.1.3 Processos auto-organizativos

Processos evolucionários são naturalmente auto-organizativos, podendo ser formalizados matematicamente e demonstrados via simulação computacional. Os sistemas complexos tornam-se auto-organizativo como reflexo do comportamento agregado de suas micro-relações. Um sistema complexo reúne as seguintes características: dinâmico; aberto; não-linear; adaptativo; passível de frustração; atratores múltiplos e quebra de ergodicidade; *self-similarity*³³ e persistência temporal e espacial (memória de longo alcance – o sistema é *path-dependence*³⁴); auto-organização e criticalidade (*self-organized criticality/SOC*), como efeito de ordem emergente a partir da desordem³⁵.

A característica auto-organizativa presente em algumas abordagens evolucionárias como método de modelização implica a ênfase em:

- a) *The permanent possibility of novelty as micro ruptures of behavioural routines;*
- b) *The evolutionary foundations of routines themselves;*
- c) *The mutually re-enforcing possibility of macro non-linearities/bifurcations and micro innovations;*

³³ Sobre o conceito de *self-similarity* em sistemas que exibem comportamento caótico, ver PEITGEN, JÜRGENS & SUAPE, *Chaos and Fractals*.

³⁴ Ao contrário do que ocorre com os processos markovianos.

³⁵ Para uma discussão mais detalhada sobre as características dos sistemas complexos ver Cavalcanti Filho (2002)

d) The essencial role of micro ‘mistakes’, disequilibria, diversity, experimentation in macrodynamics. (DOSI; METCALFE apud CAVALCANTI FILHO, 2002)

Quanto maior o grau de auto-organização do sistema maior sua fragilidade pois os agentes que o compõem passam a ser crescentemente ‘solidários’, i.e., para um mesmo ‘choque’ sofrido, seus efeitos de propagação serão amplificados por todo o sistema na razão direta do grau de auto-organização. Este processo de homogeneização pode ser caracterizado como um padrão comportamental, pois é insensível a mudanças nas regras. Qualquer tipo de inovação introduzida no sistema (seja institucional, comportamental ou concorrencial) causa uma diferente trajetória auto-organizativa, mas que também tenderá ao alcance um alto grau de homogeneidade, gerando um novo tipo de ambiente propício a introdução de ‘mais inovações’.

Em outras palavras, após o surgimento de um novo paradigma tecnológico, as firmas que conseguiram sobreviver a tal mudança capacitam-se de acordo com sua capacidade de aprendizado, objetivando a evolução das novas trajetórias tecnológicas. Com essas novas trajetórias surgem novas oportunidades de negócios, permitindo o acúmulo de lucros aos primeiros inovadores (ou imitadores ‘rápidos’) que foram capazes de construir e ampliar as assimetrias estratégicas entre as firmas. Entretanto, este processo de ‘destruição criadora’, sendo incessante, conduz as possibilidades de trajetórias tecnológicas presentes em um mesmo paradigma à finitude, mas permitindo o surgimento de um novo paradigma (mas ainda assim, incerto e imprevisível, apesar da sistematização do processo inovativo).

3.2 FORMALIZAÇÃO DO MODELO

A economia do modelo é composta por duas classes sociais, a saber: proprietários dos meios de produção, ou capitalistas, e trabalhadores assalariados. Possui quatro setores industriais $j = 4$: bens de consumo básico e bens de consumo supérfluo – com 12 empresas em cada segmento; e bens de capital e matérias-primas – esses compostos por 8 empresas cada um, compondo um total de $i = s + b + k + m$ firmas:

- a) “**s**” firmas de bens de consumo supérfluo, produzindo mercadorias no valor de C_s ;
- b) “**b**” firmas de bens de consumo básico, produzindo mercadorias no valor de C_b ;

- c) “*k*” firmas de bens de capital, produzindo mercadorias no valor de *K*.
- d) “*m*” firmas de matérias-primas, produzindo mercadorias no valor de *M*.

O sistema está estruturado da seguinte forma:

- a) Os estoques de ativos das firmas se dividem em: ativos “reais” (estoques de capital); ativos “financeiros” (estoques de quotas acionárias que são emitidas pelas firmas industriais); títulos (emitidos pelo sistema bancário); e “moeda” (saldos em conta-corrente no sistema bancário);
- b) a decisão de composição do portfólio integra as estratégias da firma de acordo com os termos:
 - a decisão de investimento em capital fixo, objetivando aumento do estoque de capital (I_e^d), depende das expectativas relativas a taxa de lucro (D_e) a ser alcançada. Essa taxa de lucro é estimada a partir do cálculo da margem sobre os custos diretos utilizando-se a extrapolação da trajetória observada do preço médio do setor. Esse preço médio é considerado o preço “desejado” da firma estabelecendo um patamar limite em que preços acima desse nível podem representar perda de *market-share*, e preços abaixo significam perda de lucratividade. Para que o investimento de fato se concretize, é necessário que o cálculo dessa taxa de lucro³⁶ seja, no mínimo, igual à taxa alternativa de mercado, representada por r^a , e adicionado a taxa de “risco de iliquidez” ($r^L = f_{(I_e^d)}, r^L > 0$), i.e., $D_e = r^a + r^L$.
 - a decisão de investimento em capital fixo com a finalidade de repor o capital sucateado (I_r^d) que inevitavelmente ocorre com o passar do tempo obedece à mesma lógica da decisão do investimento para expansão. Contudo, diferencia-se em sua forma de financiamento e na restrição sobre a grandeza “desejada”.

³⁶ Esta taxa de lucro determinará o volume máximo de capital monetário (materializado no investimento) que a firma pode investir com “segurança”, em termos financeiros. Sobre esta magnitude de capital atuam duas restrições: uma de natureza tecnoeconômica, dada pela capacidade de absorção do mercado para a produção futura da firma (pós-investimento), a outra de natureza monetária, dada pela disponibilidade de crédito bancário para financiamento do investimento (CAVALCANTI FILHO, 2002).

Os ativos financeiros da firma são quem financiam/restringem a reposição do seu estoque de capital³⁷.

- a decisão de investimento em ativos financeiros, por sua vez, segue princípios diferentes. A escolha desses ativos é baseada na comparação de sua liquidez segundo sua “competitividade relativa” em que se refere a rendimentos correntes, e relativos à ganhos/perdas esperadas de capital no caso das quotas acionárias. A composição do portfólio segue a dinâmica de uma *replicator* moldada para o mercado financeiro.
- c) dois elementos formadores da expectativa de demanda individual (${}^e d_{t+1}$) influenciam a decisão de produção da firma: a expectativa de *market-share* (${}^e f_{t+1}$) e a expectativa de demanda de mercado (${}^e D_{t+1}$). Para a expectativa de *market-share* tem-se a competitividade relativa da firma, e os fatores causadores de mudança nessa relação, como alterações esperadas no preço médio e no preço da firma individual, como determinante principal do *market-share* corrente. A expectativa de demanda de mercado considera apenas a variação esperada no preço médio (*ceteris paribus*). No caso dos mercados que trabalham sob encomenda (matérias-primas e bens de capital) supõe-se demanda *ex-ante* conhecida, sendo o *market-share* o único elemento desconhecido. Entretanto, os mercados apresentam diferentes elasticidades-preço. O setor de bens de capital apresenta elasticidade unitária (dada a taxa de lucro esperada) e o de matérias-primas possui demanda perfeitamente inelástica (desconsidera-se o efeito-renda indireto sobre a demanda pelos bens dos setores usuários). Assim, temos que as firmas de bens de capital fixam seu preço primeiro, possibilitando o ajuste da demanda. Por sua vez, as firmas de matérias-primas podem fixar o preço médio que melhor lhes convier (no período de produção, dada a renda), já a demanda de mercado é resultado da decisão de produção dos usuários. A cada período de produção, a firma estabelece uma razão fixa entre o nível de produção e os estoques “desejados”. Se esses estoques se apresentarem acima do nível desejado, configurando um estoque indesejado, então serão eliminados gradativamente a partir de um parâmetro (T) que acomoda a decisão de produção.

³⁷ A justificativa teórica, para esta distinção modelística, decorre da função desempenhada pelo crédito *ad hoc* na geração/alteração do nível de lucros da economia e pela função do investimento líquido na expansão do estoque de capital (CAVALCANTI FILHO, 2002).

- d) a decisão de preço corrente da firma é determinada através de uma versão da equação de preço de Kalecki: calcula-se uma média ponderada (pelo *market-share*) entre seu preço “desejado” e o preço médio “esperado” do mercado. A capacidade de fixação de preços (mais próximo possível do preço “desejado”) é diretamente relacionada ao *market-share* da firma. O preço “desejado” da firma será fixo entre dois períodos de investimento. Geralmente, esse preço é inferior ao preço médio corrente³⁸, que tende ao patamar do preço desejado no decorrer do tempo. O preço médio “esperado” para o período seguinte considera como dado os preços dos rivais no período anterior, e regulados às mudanças dos *market-shares*.
- e) e) os trabalhadores são remunerados com um mesmo salário nominal e real, sem diferenciação por setor, sendo integralmente “gasto” (no mesmo período) com bens de consumo básico. O salário nominal é irredutível, porém cresce quando a taxa de desemprego fica abaixo de 5% da PEA³⁹, ou quando ocorre aumento da produtividade do setor de consumo básico.
- f) os “rentiers” são os proprietários de uma parcela das quotas acionárias transacionadas na bolsa de valores e de parte dos títulos emitidos pelo sistema bancário, objetivam a acumulação de riqueza financeira. São representados por um “Fundo de Investimento” viabilizando o *funding* da dívida das firmas industriais através da aquisição de novas quotas acionárias, e reduzindo a iliquidez dos passivos bancários via compra de títulos. Consomem bens supérfluos financiando-se a partir dos dividendos e juros recebidos de seus ativos financeiros ou através de empréstimos bancários (com período de amortização menor que os empréstimos às firmas). O custo de oportunidade relativo às taxas de juros dos ativos e do passivo é a variável de escolha entre fontes internas ou externas de recursos.
- g) o sistema bancário financia a rolagem da dívida pública e privada, bem como financia suas próprias estratégias de aquisição de ativos (gerenciando seu passivo). Neste processo, modifica a estrutura financeira da economia através da criação de ativos (com variados graus de liquidez) que substituem as funções da moeda.
- h) a natureza inerente a esse processo de introdução, preservação e seleção dos ativos e passivos da economia é responsável pela trajetória evolucionária da economia, cada

³⁸ A estrutura do modelo, com progresso técnico redutor de custos, apresenta trajetórias declinantes para os preços médios nos vários setores da indústria. Uma vez que o preço desejado é igualado ao preço médio ‘esperado’ ao final da vida útil dos bens de capital adquiridos, por implicação, deve ser inferior ao preço médio corrente.

³⁹ A PEA cresce à uma taxa estável de 0,25% por período, ou 1% a.a.

vez mais “fragilizada” e, portanto próxima da ruptura entre o sistema produtivo e financeiro.

- i) o Estado está representado por política fiscal e monetária. A Política fiscal de gastos públicos é acionada quando a taxa de desemprego ultrapassa 10% da PEA através de um parâmetro (PF) multiplicador do número de trabalhadores que estão diretamente na administração do setor público (AD, que cresce igual à taxa da PEA, sendo estabelecido uma proporção fixa de 10% desta), ou exonerando empregados quando a taxa de desemprego for menor que 10% e o emprego público for maior que o nível AD. A receita do governo é obtida através de impostos sobre os lucros industriais, bancários e financeiros a uma taxa fixa (tax) sobre aumentos reais no salário (taxw). A emissão de títulos de dívida pública também se constitui em uma forma de financiamento dos gastos caso a receita tributária se mostre insuficiente. O Banco Central não monetiza o déficit público, sendo a política monetária restrita a alterar a taxa de juros básica (r_{bacen}), aumentando-a caso a taxa de desemprego apresente-se menor que 5%, e diminuindo caso contrário.
- j) os investimentos em P&D figuram uma parcela da receita operacional corrente da firma e se resumem à contratação de pesquisadores. Para a firma individual esse investimento terá como efeito a redução (estática) da taxa de lucro corrente (devido à despesa com P&D), mas aumenta (dinâmica) a taxa de lucro “esperada”, fruto da geração de inovações (não há P&D imitativo) no decorrer de duas trajetórias tecnológicas: aumento na produtividade do trabalho e redução no uso de matérias-primas por unidade do produto (*ecoeficiência*), e ganhos de competitividade obtida a partir da diminuição dos custos e preço da firma. Para a economia agregada, o investimento em P&D da firma terá baixo impacto (estático) sobre o nível de emprego, renda e consumo básico, mas terá grande impacto (dinâmico) sobre a taxa de crescimento do emprego, da renda, dos lucros, do crédito, da riqueza financeira, demanda e produção, sobre os preços médios em cada setor, tamanho médio das firmas, do déficit e dívida pública, etc.

Podemos sintetizar que no processo de formação de expectativas de curto e longo prazo, sob a HEAE, o sub-conjunto de informações disponíveis à firma são: seu preço desejado, custos diretos correntes, *market-share* do período anterior, preços do período anterior e a demanda do mercado “esperada”. A seguir as principais equações do MKS.

a) Preço “desejado”:

A decisão de investimento da firma é realizada concomitantemente à formação de preço desejado, após a firma verificar que a taxa esperado de lucro é maior que a taxa de rentabilidade alternativa do mercado, baseado no preço médio esperado para o final da vida útil do investimento. Uma vez definido o lucro líquido mínimo “desejado”⁴⁰, a firma acrescentará o serviço financeiro corresponde à amortização da dívida bancária a ser contraída, decorrente de sua decisão de investimento, ou as reservas para depreciação deste estoque de capital e, assim, determina o lucro bruto “desejado”⁴¹. Adicionando-se o custo direto total de produção ($Cdir_t$)⁴² temos o nível mínimo de receita bruta “desejada” por período. A partir da divisão desta receita bruta pelo nível “desejado” de produção (${}_tQ^d$) obtem-se o markup (${}_tMK^d$) e o preço “desejado” (${}_tp^d$) da firma. Assim, tem-se que:

$$P_t^d = \frac{Rb_t^d}{Q_t^d} = \frac{(Lb_t^d + CdirTot_t)}{Q_t^d} = \frac{[(1 + r_t^a + r_t^l) P_{tk} I_{ts} + Q_t^d Cdir_t]}{Q_t^d} = Lub_t^d + Cdir_t$$

$$P_t^d = (1 + MK_t^d) Cdir_t \quad (1)$$

O incentivo da firma por investir parte dessa expectativa de obter o *markup* desejado, estimado a partir da expectativa da firma quanto ao “grau de monopólio” do mercado. O nível de *markup* desejado sofre influência dos seguintes fatores: i) expectativas quanto às taxas de rentabilidade dos demais ativos; ii) o quantum do capital investido e o nível da taxa de juros; iii) o “risco de iliquidez”; iv) expectativas quanto aos aspectos determinantes do “grau de monopólio”.

b) Preço no período corrente:

Três fatores influenciam a decisão da firma na determinação do preço: a busca de uma taxa de retorno que esteja de acordo com o custo de oportunidade do capital; a incerteza quanto ao comportamento das firmas rivais; e a busca pela preservação de sua competitividade interna e externa.

A equação de determinação do preço apresentada por Cavalcanti filho (2002) é uma versão da equação desenvolvida por Possas, Koblitiz et. al (2000), e que apresenta uma

⁴⁰ Lucro líquido mínimo desejado: $LI_t^d = (r_t^a + r_t^l) P_{tk} I_s$

⁴¹ Lucro bruto desejado: $LB_t^d = (1 + r_t^a + r_t^l) P_{tk} I_s$

⁴² Este custo é derivado do nível de produtividade e preços dos insumos que a firma ‘espera’ que vigore durante a operação da ‘nova’ capacidade produtiva, decorrente do investimento.

estrutura kaleckiana sob a forma de uma *replicator equation*, mas que foi modificada para que pudesse incorporar três novas influências: as expectativas e o cálculo do preço “desejado”, a endogeneização das variáveis que determinam o grau de monopólio e mudança na influência da concorrência efetiva sobre o preço e a influência da concorrência potencial sobre o preço. Tem-se então que o preço corrente é calculado como uma média ponderada (pelo market-share) entre seu preço desejado e o preço médio esperado do mercado. Quanto maior seu market-share, maior sua capacidade de fixar o preço corrente próximo ao desejado.

$$P_t = (1 + MK_t) Cdir_t = P_{t-1} + P_{t-1} \left\{ n_t \left[\left(\frac{epmédio_t}{P_{t-1}} \right) - 1 \right] + m_t \left[\left(\frac{P_t^d}{P_{t-1}} \right) - 1 \right] \right\} =$$

$$P_t = P_{t-1} + P_{t-1} \left[\left(\frac{n_t * epmédio_t + m_t * P_t^d}{P_{t-1}} \right) - 1 \right]$$

$$P_t = m_t * P_t^d + n_t * epmédio_t \quad (2)$$

A equação (2) é a equação de preço de Kalecki “ajustada”, onde os parâmetros “m” e “n” seriam o “grau de monopólio” kaleckiano, os quais atuam como fatores de “ponderação” dos pólos ‘atratores’ representados pelo preço “desejado” e pelo preço médio “esperado” das rivais no mercado.

Se a firma estabelecer um preço corrente acima do preço desejado e do preço médio, ela denotaria em perda de market-share. Caso contrário, se a firma cobrar um preço abaixo do preço desejado e do preço médio, ela estaria voluntariamente abrindo mão de seu mark-up efetivo para um nível menor do que o estabelecido pela pressão competitiva.

c) Preço médio “esperado” da firma:

É determinado como uma média ponderada, pelo *market-share* do período anterior (f_{t-1}^i), entre o preço médio das firmas rivais no período anterior ($Pmédio_{t-1}$), e o preço corrente da firma (P_t). Pela solução das equações simultâneas de preço corrente e preço médio esperado do mercado, obtemos o preço médio esperado da firma como uma média ponderada entre o preço desejado e o preço médio das rivais.

$$P^s médio = f_{t-1}^i * P_t^d + (1 - f_t) * Pmédio_{t-1} \quad (3)$$

d) Market-share “esperado”:

$$f_{t+1} = f_t * \left\{ 1 + A_{t+1} * \left[\left(\frac{Pmédio_t}{P_t} \right) - 1 \right] \right\} \quad (4)$$

A equação (4) formaliza as expectativas que a firma i forma, ao final do período t , sobre o seu *market-share* no período seguinte, considerando a diferença (positivo, nulo ou negativo) de preço (como *proxy* da competitividade) que esta firma espera obter, também no período seguinte, em relação à média esperada do mercado. O parâmetro A é utilizado usualmente pelos evolucionários como uma representação da velocidade de ajuste do *market-share* ao diferencial de competitividade observado. Esta velocidade depende do tipo de concorrência específico ao setor industrial desta firma.

3.3 O MKS “VERDE”

Para o estudo da variável ambiental, foram realizadas algumas adaptações do modelo MKS original. A discussão sobre a dinâmica do modelo será feita a partir de uma visão sistêmica entre economia, sociedade e meio ambiente, como representado no fluxograma no fim desta seção. Inicialmente explanaremos sobre como ocorre a poluição no modelo, e como mensuramos essa poluição em termos de impacto ambiental.

Dentre as inúmeras causas geradoras de poluição no mundo, pode-se relatar o processo de produção e o consumo como regra geral para toda sociedade de depleção ambiental. Em ambas as formas a geração de resíduos é praticamente inevitável. Os resíduos são resultado de matéria-prima mal aproveitada, implicando em custos adicionais com perdas de recursos, custos para tratamento e disposição final. Significa uma baixa eficiência no aproveitamento dos recursos naturais (KIPERSTOK et al, 2002). Segundo a definição da União Européia, os resíduos são todos aqueles materiais gerados nas atividades de produção, transformação ou consumo, que não alcançaram nenhum valor econômico e social imediato (BRAGA, 2000).

A lei alemã sobre o ciclo de vida, gestão e disposição de resíduos, troca totalmente o significado anterior de resíduos, expandindo e transferindo para o início do processo. De acordo com o novo conceito e alinhado com o princípio de prevenção, se considera o resíduo como todo aquele que se gera na produção, fabricação e processamento, cuja geração não era a intenção original do processo (TEGGE, 1997). Esta definição fica restrita aos resíduos industriais.

Na definição tradicional, resíduo é qualquer material não aproveitado que será, posteriormente, coletado e disposto como lixo (FROSCH, 1997). Segundo a ABNT, resíduo é

o “material ou resto de material cujo proprietário ou produtor não mais o considera com valor suficiente para conservá-lo” ou ainda “resíduo das atividades humanas, que normalmente se apresenta em estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido. É vulgarmente denominado lixo.” De fato, os restos de alimentos, embalagens descartadas, objetos inservíveis etc., quando são misturados aleatoriamente tornam-se lixo, e seu destino é o aterro sanitário, ou outro tipo de disposição.

Nos países desenvolvidos os custos com a gestão de resíduos industriais estão em torno de 0,2 a 0,5% do PIB, o que significa uma carga financeira representativa para qualquer país. Uma indústria intensiva em recursos além de prejudicar sua disponibilidade no futuro, ainda causa uma série de prejuízos para a geração corrente.

Dessa forma, todo o debate sobre poluição e impacto ambiental no modelo MKSverde será feito em termos de intensidade na utilização de recursos por parte das firmas, atrelado ao consumo do produto final. Para simplificar a análise, optou-se por restringir a indústria de bens de consumo básico como único setor poluidor do modelo. Este setor representa a utilização de 65% da matéria-prima (produzida pelo setor de matéria-prima) da economia desse modelo, e único cujo produto é demandado por todos os agentes. Adicionalmente, estatísticas demonstram que em média, o setor de bens de consumo básico possui um potencial poluidor maior que as demais⁴³.

Tem-se então, dois focos de análise do impacto ambiental. Um pelo lado da demanda por bens de consumo básico, operando através da geração de lixo urbano e da indução ao aumento da produção. E outro pelo lado da oferta, cuja tecnologia de produção determina a intensidade do impacto. A demanda total do modelo é influenciada pela PEA, pelo emprego total (N_{tot}), e pelo salário real (w_{real}). A oferta está relacionada com a função de produção da firma, e com as expectativas de demanda, que determina o quanto a firma irá produzir. Baseado em tais argumentos, construiu-se um indicador ambiental que representa o *trade-off* entre crescimento econômico e meio ambiente, e o progresso tecnológico como forma de resolução desse dilema.

$$i_{ambiental}_t = \frac{w_{real}_t}{\tau_t} * \frac{N_{tot}}{PEA}$$

A partir desse indicador vemos que aumentos no salário real e no emprego da economia aumentam o impacto ambiental através do aumento do consumo. De outro modo,

⁴³ Ver estatísticas IPPS, disponível em <http://econ.worldbank.org>.

momentos de recessão econômica, geralmente acompanhado por aumento do desemprego, exercem um impacto favorável ao meio ambiente pela redução do consumo e da produção industrial. Assim, a produtividade (τ) é a única variável capaz de contrabalançar os efeitos maléficos ao ambiente causados pelo crescimento econômico.

O governo dessa economia hipotética faz política ambiental de modo a gerar um incentivo à firma aumentar sua produtividade. Todavia, é importante perceber que políticas econômicas expansivas possuem um efeito colateral perverso. Política fiscal e monetária que aumente a renda disponível do consumidor, ou aumente o crédito disponível tanto para as firmas quanto para as famílias, será responsável pelo aumento da pressão do consumo sobre o meio-ambiente (caso não haja nenhuma restrição ambiental).

São propostos três tipos de política, duas incidentes sobre a oferta (um imposto e um subsídio), e uma sobre a demanda (educação ambiental). O imposto (iatax) representa o caso da política mais restritiva, é pago pelo produtor e/ou utilizador de recurso de modo a assegurar previamente os custos com a gestão de resíduos de origem industrial e doméstica e garantir a sua reciclagem, valorização ou eliminação de forma controlada e segura. O subsídio (subverde) se constitui como uma restituição do imposto de renda proporcional ao aumento da produtividade da firma, para que seja reinvestido em P&D, de modo a aumentar a probabilidade de a firma continuar em sua trajetória de produção ecoeficiente. É um tipo de política mais branda que o imposto, pois não significa aumento de custos para a firma. A política incidente sobre a demanda é representada através de um parâmetro da preferência pela ecologia (PE) do consumidor, indicando sua preferência por obter produtos de empresas que tenham se engajado em uma produção menos agressiva ao meio-ambiente. Pode-se representar essa cadeia de relações da seguinte forma:

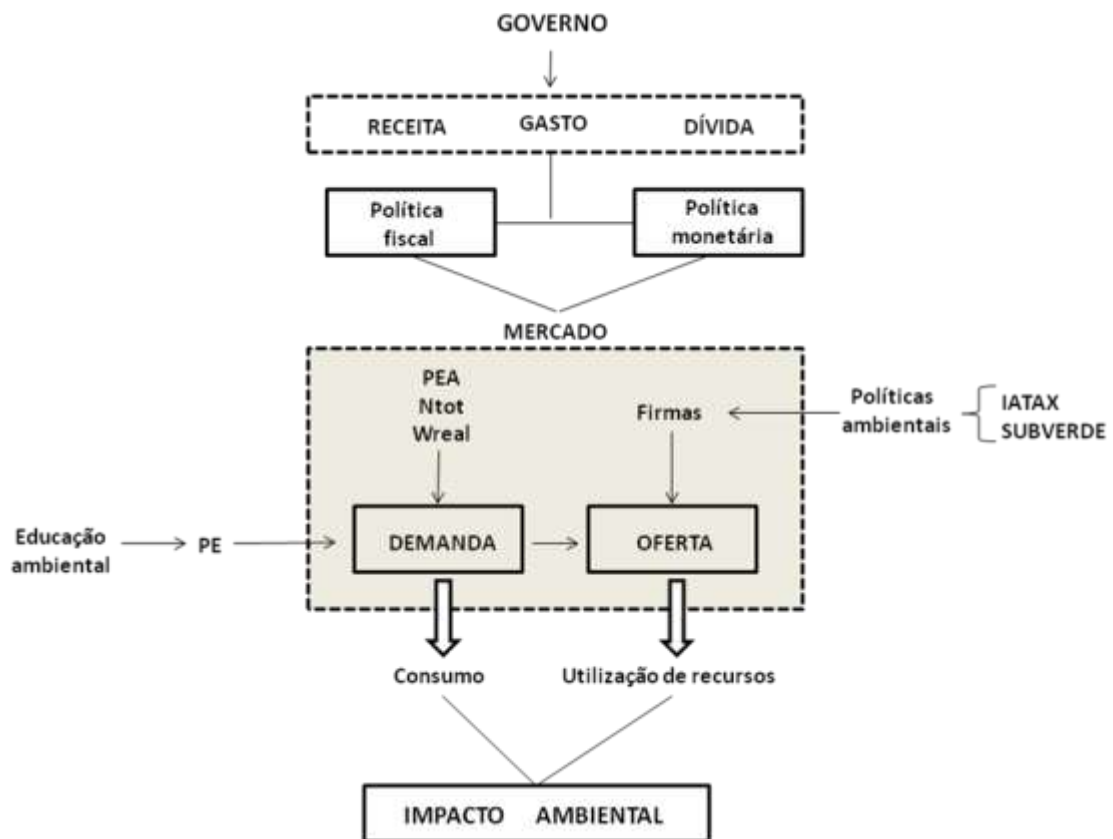


Figura 3: Representação da cadeia de relações
 Fonte: Elaboração Própria

Toda a dinâmica do incentivo à firma a atingir uma produção ecoeficiente se dá em torno da variável que representa sua produtividade (τ). A produtividade do período anterior é o que determina a magnitude do subverde da firma, bem como determina a quantidade de resíduos gerados e, portanto o iatax. Antes de explicar a dinâmica desse incentivo, vejamos como a firma determina sua produtividade.

A produtividade do período corrente da firma (τ_t) é função da sua produtividade do período anterior (τ_{t-1}) e do ganho de produtividade do período corrente obtido a partir da inovação.

$$\tau_t = \max(\tau_{t-1}, \tau_{IN_t})$$

Contudo, a firma pode não obter sucesso em sua inovação, ou mesmo sequer investir em inovação, sendo sua produtividade corrente exatamente igual a produtividade do período anterior. O que determina o sucesso inovativo da firma é seu gasto em P&D, quanto maior o for, maior sua probabilidade de sucesso. Assim, tem-se a seguinte condição para a ocorrência da inovação:

$$Se RND < \frac{gastosP\&D_{t-1}}{2} * 0,1$$

Caso o segundo termo dessa equação seja maior que RND (número aleatório) então os gastos com pesquisa da firma foram suficientes para que obtivesse a inovação. Seu ganho de produtividade será então função da produtividade média do período anterior ($MeanProdtau_{t-1}$) e do seu desvio padrão corrente ($StdProdtau_t$).

$$tau_{IN} = norm(MeanProdtau_{t-1}, StdProdtau_t)$$

Por sua vez, os gastos em P&D da firma somente ocorrem se a firma apresentar um lucro operacional do período anterior maior que zero. Caso se confirme essa condição, esses gastos equivalem a um percentual (RIN) do faturamento da firma.

$$gastosP\&D = P_{t-1} * vendas_{t-1} * RIN$$

A partir desse ponto, da determinação do faturamento da firma, que está inteiramente correlacionado com uma série de variáveis expectativas, iniciamos nossa discussão de como a variável ambiental afeta a competitividade e a decisão de investimento da firma.

Como visto anteriormente, na apresentação das equações básicas do modelo MKS original, a firma forma seu preço corrente (determinante do faturamento) como uma média ponderada entre seu preço desejado e o preço médio esperado, de modo a cobrir seu custo direto de produção e obter o lucro esperado. Mas como o preço médio esperado é calculado a partir da média entre o preço desejado da firma e o preço médio de suas rivais do período anterior, tem-se que quanto maior o *market-share* da firma, maior sua capacidade de fixar seu preço corrente próximo do desejado.

O preço desejado é determinado a partir da decisão de investimento da firma, que está relacionada à taxa esperada de lucro, e que depende do preço médio esperado e dos custos. Sendo a competitividade (E_i) da firma igual ao inverso do seu preço, quanto maior a sua capacidade de estabelecer um preço abaixo do preço médio do mercado, mais competitiva é a firma. A competitividade da firma determina a expectativa de *market-share* do mercado

Caso o preço de suas rivais se mantenha constante, e se o custo indireto se mantiver inalterado, apenas é possível a firma reduzir seu preço caso alcance uma redução no seu custo direto (custo com matéria-prima). Isto nos conduz novamente à variável indicadora da produtividade da firma (τ). Assim, a firma encontra um incentivo em decidir por inovar. Através da inovação é possível reduzir seus custos, reduzindo seu preço, tornando-se mais competitiva, aumento seu *market-share* (já que os agentes preferem comprar mercadorias com preço mais baixo), e conseqüentemente elevando sua capacidade de fixação de preço. Veremos agora como esse mecanismo se modifica ao inserir a política ambiental.

a) IATAX

O iatax é determinado a partir dos custos que incorrem o governo, na gestão dos resíduos derivados da produção industrial e do consumo. O custo de limpeza de cada firma é então dado por:

$$CLimp_i = \left(\frac{Q_{t-1}}{\tau_{t-1}} * limp \right) * 15$$

O primeiro termo dessa equação indica a quantidade de resíduos gerados calculado como proporção da produção total da firma. Considerando que 2% do produto final da firma sejam resíduos⁴⁴ (equivalente a um limp = 0,02), e sabendo das condições iniciais do modelo (de produção e produtividade da firma⁴⁵), tem-se inicialmente nessa economia, uma quantidade de 5 unidades de resíduos por firma. Cada unidade de resíduos, custa ao governo 15 unidades monetárias para o seu tratamento⁴⁶, que representa 1,8% do faturamento da firma. Foi estabelecido o imposto ambiental (iatax) para a firma equivalente à esse custo de limpeza dividido por um denominador que equilibrasse a receita e o gasto do governo, a fim de neutralizar outras políticas do governo sobre as variáveis em análise⁴⁷.

$$iatax = CLimp$$

Como esse imposto é retirado do lucro líquido da firma, a firma encontra um incentivo adicional a investir em inovação, a fim de aumentar sua produtividade e reduzir o imposto pago.

b) Subverde

O subsídio verde constitui uma restituição do imposto por parte das firmas, para gasto em P&D. Será igual ao imposto pago pela firma (lucro líquido menos serviços financeiros e mais receitas financeiras – LL, menos lucro líquido dos encargos e receitas financeiras e do

⁴⁴ Os resíduos perigosos são uma fracção relativamente menor da totalidade dos resíduos, caracterizados por determinarem ameaças potenciais ou reais à saúde pública e, mais em geral, ao ambiente. Internacionalmente, permanece desconhecida a quantidade real de resíduos perigosos gerados, sugerindo-se um quantitativo de 400 milhões de toneladas por ano (Suk, 1998), mas supõe-se que essa quantidade esteja a crescer. A OCDE estimou que, em média, um carregamento de resíduos perigosos atravessa em cada 5 minutos as fronteiras das nações que constituem a organização, correspondendo à circulação de mais de 2 milhões de toneladas por ano entre países europeus da OCDE (Suk, 1998). Para o MKSverde, supomos que nesses resíduos também estão inclusos os resíduos derivado do consumo.

⁴⁵ $Q_b = 12.000$ e $\tau_{ub} = 4$.

⁴⁶ Este número foi calculado com base no gasto médio com meio-ambiente dos países da OECD, que apresentaram estatísticas entre 0,2% e 0,5% do PIB. Aqui, supôs-se gasto equivalente a 2% do PIB da economia. A partir da participação inicial de cada setor no uso de matéria-prima total da economia, rateou-se esse custo por setor e o dividiu pelo número de firmas.

⁴⁷ Simulações teste demonstraram uma dívida do governo explosiva quando o imposto ambiental é determinado igual ao custo de limpeza integral.

imposto – LL_{tax}) ao governo, multiplicado por um parâmetro verde (PV), que determina o montante do subsídio, e por uma relação que indica a magnitude da inovação ambiental obtida no período anterior. Essa inovação ambiental é representada pela razão da variação da produtividade do período anterior (decorrente do sucesso da inovação, assim as firmas que não obtiveram sucesso estão automaticamente excluídas da concessão do subsídio) e a produtividade (τ) de dois períodos antes.

$$subverde = (LL_t - LL_{tax_t}) * PV * \frac{varPRODverde_{t-1}}{\tau_{t-2}}$$

$$VarPRODverde = (\tau_t - \tau_{t-1})$$

Posteriormente, esse subverde obtido pela firma é adicionado aos gastos de P&D formando o investimento em inovação, aumentando a chance da firma continuar obtendo sucesso no aumento de sua produtividade. Temos então que a condição do sucesso inovativo se modifica para:

$$Se RND < (gastos P\&D_{t-1}/2 + subverde) * 0,1$$

c) Preferência pela Ecologia (PE)

Por fim, o governo dessa economia também realiza uma política incidente sobre a demanda, representada por um parâmetro que reflete a preferência do consumidor por obter produtos daquelas firmas que apresentarem uma produção ecoeficiente em relação às demais. Este parâmetro influencia a competitividade da firma da seguinte forma:

$$E = \frac{1}{P_t} + (PE * \tau_t)/100$$

A equação de competitividade da firma original do modelo MKS possui apenas o primeiro termo. Com o intuito de preservar o preço como determinante mais importante da competitividade, dividiu-se o segundo termo por 100 para que a preferência pela ecologia corresponda uma fração menor que o preço na determinação da competitividade⁴⁸. Assim, mantendo os demais fatores constantes, quanto mais produtiva mais competitiva é a firma. A representação de toda essa dinâmica segue abaixo.

⁴⁸ A partir das condições iniciais ($P=4$, $\tau=4$), tem-se uma competitividade inicial igual a 0,25 por firma. Ao inserir a preferência pela ecologia, considerando PE igual a 2, por exemplo, tem-se uma competitividade inicial igual a 0,33.

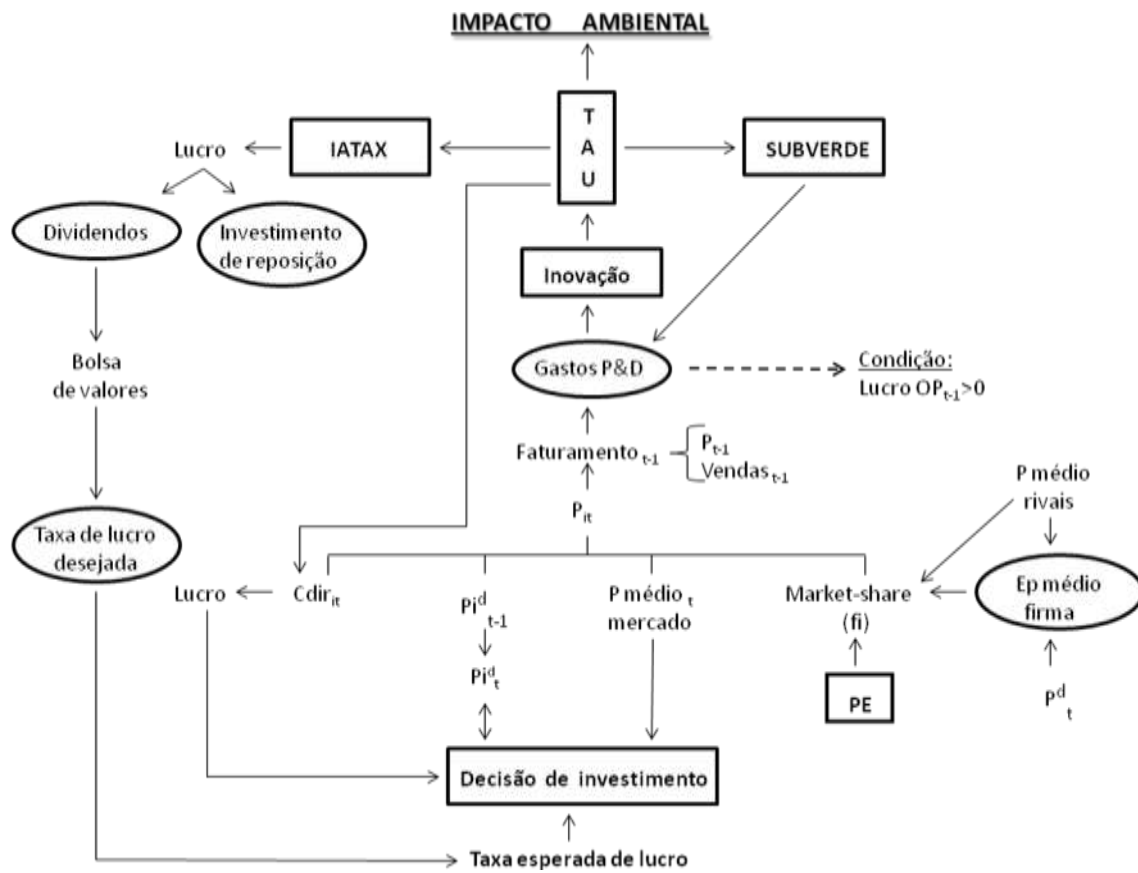


Figura 4: Organograma da influência da política ambiental sobre as decisões da firma
 Fonte: Elaboração Própria

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS

Enquanto exercícios de simulação testaram-se diferentes valores de parâmetros para as políticas ambientais formuladas com o intuito de verificar a sensibilidade do comportamento das variáveis, o que resultou em nove combinações diferentes de políticas, a saber:

- a) Subverde com o parâmetro PV igual a 20, PV igual a 50 (que serão chamadas PV20 e PV50 de agora em diante), e PV igual a 35 quando política conjunta com o imposto e a educação ambiental;
- b) Educação ambiental com o Parâmetro de Preferência pela Ecologia, PE, igual a 2, e outra com o PE igual a 5 (PE5 e PE2);
- c) Imposto ambiental com a alíquota igual a $1/6$ do custo de limpeza do governo, chamada $iatax/6$, e outra com alíquota referente à $1/4$ dos custos de limpeza, chamada $iatax/4$;
- d) E combinações dessas políticas: subverde com PV35 mais $iatax/6$; subverde PV35 mais PE2; e por fim PE2 mais $iatax/6$.

Todos os resultados gerados pelas políticas são comparados com o caso da simulação sob ausência de política ambiental. Sendo uma economia hipotética, valores absolutos perdem significância, pois o modelo não foi “calibrado” para reproduzir as séries de nenhuma economia real (brasileira ou de qualquer outro país). Trata-se de um experimento puramente teórico e, desta forma, avalia-se os resultados qualitativos⁴⁹, concentrando, assim, a análise em termos de diferença percentual relacionado ao caso sem política:

- a) percentuais positivos indicarão que, em média, aquela variável eleva-se por efeito das políticas;
- b) percentuais negativos, portanto, indicarão reduções na magnitude da variável, também por efeito das políticas.

Esse capítulo divide-se em quatro seções. A primeira em que consta a análise do impacto agregado da economia sobre o meio ambiente, refletido através do indicador ambiental, a partir do qual pode-se verificar quais políticas geraram o melhor resultado ambiental. Em seguida verifica-se as variáveis agregadas da economia, que compõem a

⁴⁹ O mesmo tipo de análise quando se investiga as propriedades de uma função de produção genérica ($F[K,L]$): sabe-se que a maximização de lucros exige que $F' > 0$ e $F'' < 0$, mas não é necessário saber o valor específico, apenas o sinal das derivadas.

equação do indicador, buscando identificar os fatores macroeconômicos responsáveis pela mudança. A segunda seção aborda o setor público, verificando a pressão das políticas sobre a receita, gastos e dívida do governo. A terceira seção traz uma análise microeconômica, comparando as variáveis individuais de cada firma referentes à produtividade, preço, competitividade, *market-share* e lucro operacional. Por fim, na quarta seção tratamos do grau de concentração da indústria de bens de consumo básico dessa economia, a partir da análise de dois indicadores de concentração (HH e RC4). Dividiremos a apresentação dos resultados em três seções: a primeira trazendo o indicador ambiental e as variáveis agregadas, a segunda a análise da concentração do mercado, e a terceira trazendo as discussões individuais para cada firma, especificando detalhadamente a dinâmica do incentivo das políticas sobre as variáveis microeconômicas.

4.1 IMPACTO AGREGADO

A partir das condições iniciais do MKS, em que a economia se encontra com uma taxa de desemprego de 7%, tem-se um indicador ambiental igual a 0,92. Caso a economia estivesse operando em pleno emprego, este indicador assumiria valor igual a 1. Tem-se então que valores maiores que esse indicam aumento da pressão do consumo sobre o ambiente, e valores menores indicam que houve redução do impacto. A seguir, apresenta-se o gráfico da trajetória dos 100 períodos.

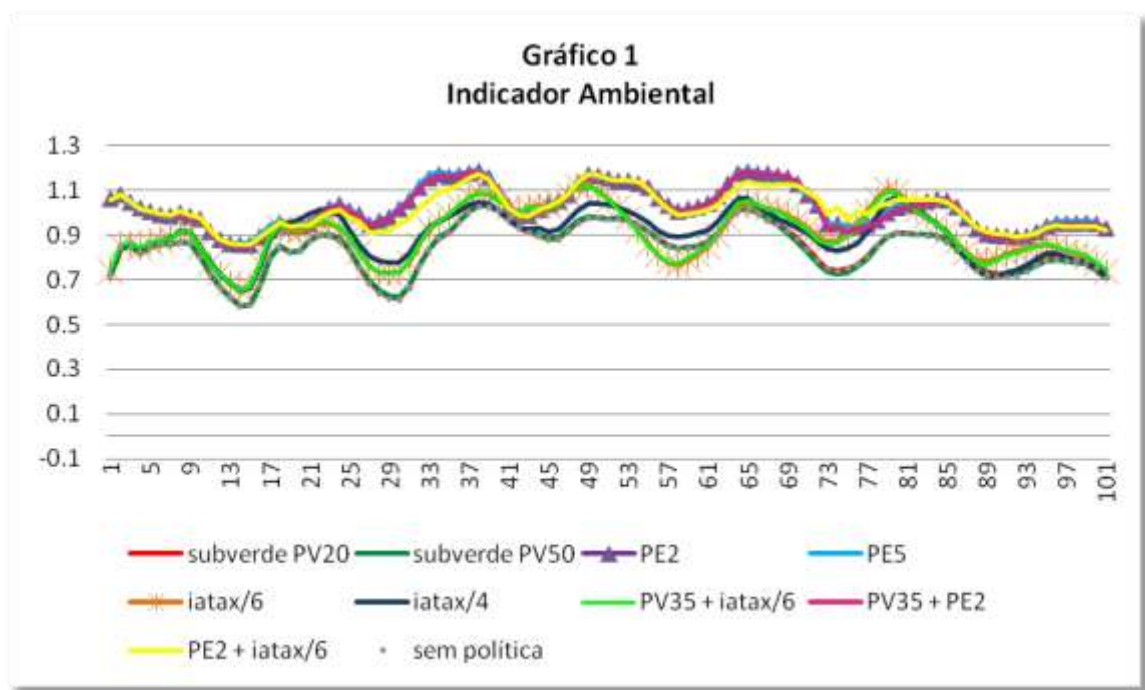


Gráfico 1: Indicador ambiental
Fonte: Elaboração Própria

Observa-se que o impacto agregado apenas reduziu-se entre os períodos 53 e 65, para os casos das políticas PV35+iatax/6 e iatax/6, relativamente ao caso sem política. Contudo, devido à cadeia de relações que está implícita nesse indicador é errôneo concluir a priori que as políticas propostas surtiram efeito contrário ao esperado. É necessária uma análise mais acurada sobre os determinantes desse indicador.

Para a análise do impacto da oferta da indústria sobre o meio-ambiente examinaremos a variação percentual da produção total do setor B e sua produtividade média. As variáveis de demanda apresentadas serão o emprego total da economia e o salário real, que exercem impacto via pressão do consumo.

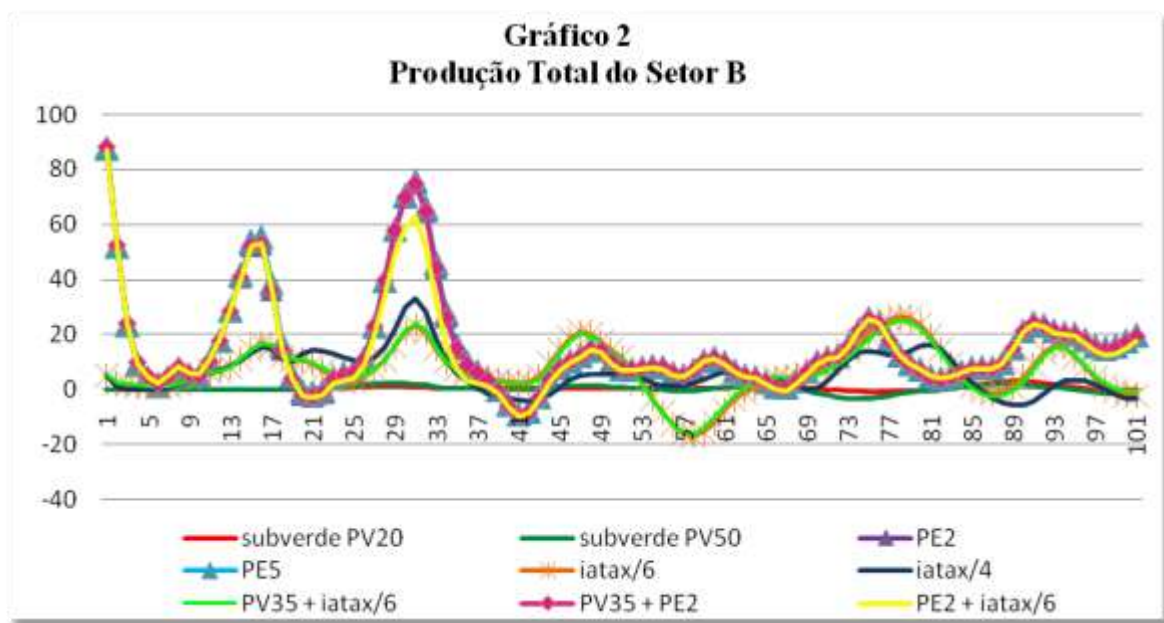


Gráfico 2: Produção total do setor B
Fonte: Elaboração Própria

Observa-se que o produto total do setor B, para os casos do subverde PV20 e PV50, não apresentou variação significativa. Para estas mesmas políticas a trajetória do indicador ambiental coincide com a trajetória do indicador ambiental para o caso sem política. Assim, pode-se afirmar que não houve aumento no impacto para os casos PV20 e PV50 porque a produção se manteve no mesmo patamar.

As políticas que mais causaram impacto sobre o produto industrial foram: PE2+iatax/6; PV35+PE2; PE2; PE5; todos com resultados semelhantes. Comparando os períodos de pico na produção⁵⁰ com os mesmos períodos do gráfico do indicador ambiental, vê-se uma queda nesse último o que nos faz questionar sobre a produtividade nesses períodos. Ao verificar a média do produto de todo o período estudado, constata-se aumento de 12,5% para as políticas PE2 e PV35+PE2, de 12,8% para o PE5 e de 11,5% para o PE2+iatax/6.

As políticas iatax/4, iatax/6 e PV35+iatax/6 apresentaram uma variação percentual menor que os casos anteriores, com variação da média do produto igual a 5,4%, 6,5% e 6,3% respectivamente.

A análise do produto total do setor B nos leva a inferir que não houve queda no indicador ambiental devido ao aumento da produção de bens de consumo básico (para todas as políticas simuladas) que aumenta o impacto ambiental via maior utilização de recursos e de

⁵⁰ Períodos 9 –17; 25 – 37; 73 – 77; 89 – 97.

consumo. Para o estudo da “qualidade” desse crescimento, deve-se examinar o efeito das políticas sobre a produtividade média da indústria.

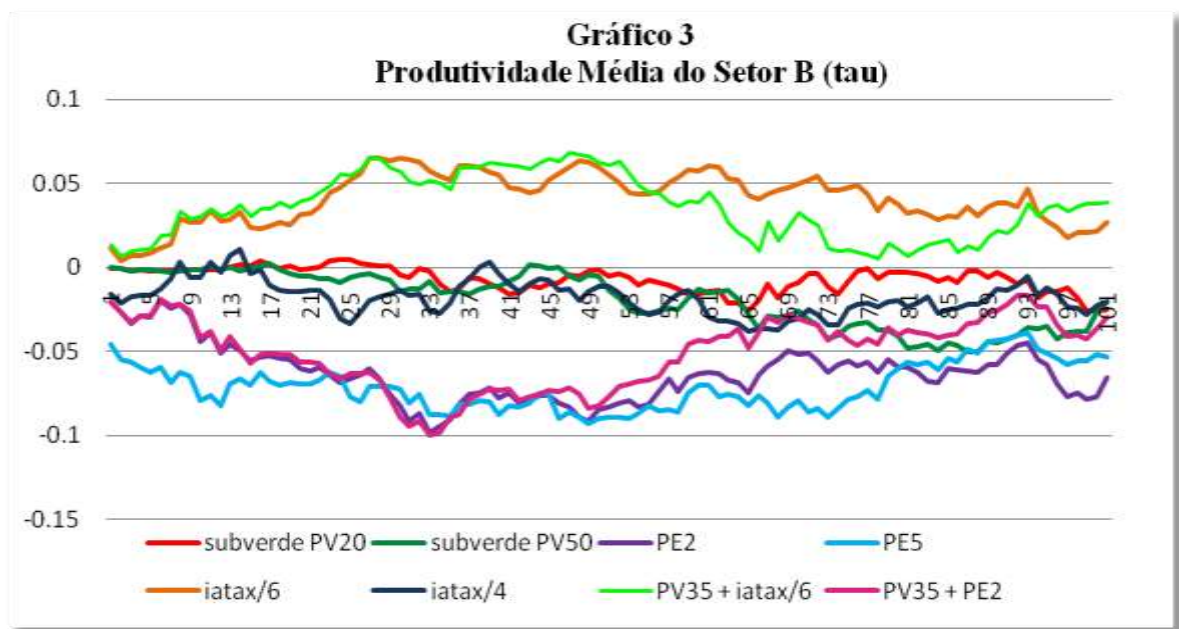


Gráfico 3: Produtividade média do setor B (tau)

Fonte: Elaboração Própria

Observa-se que as únicas políticas que apresentam uma trajetória de produtividade média superior ao caso sem política são: iatax/6 e PV35+iatax/6. Em relação à média de todo o período da produtividade média, não houve queda de produtividade para nenhuma política, tendo apresentado crescimento para os casos iatax/6 e PV35+iatax/6. Para conclusões mais consistentes faz-se primordial a análise da produtividade individual de cada firma, a ser realizada na terceira seção. Por fim, tem-se as duas últimas variáveis que incidem diretamente sobre o indicador ambiental: o emprego total e o salário real.

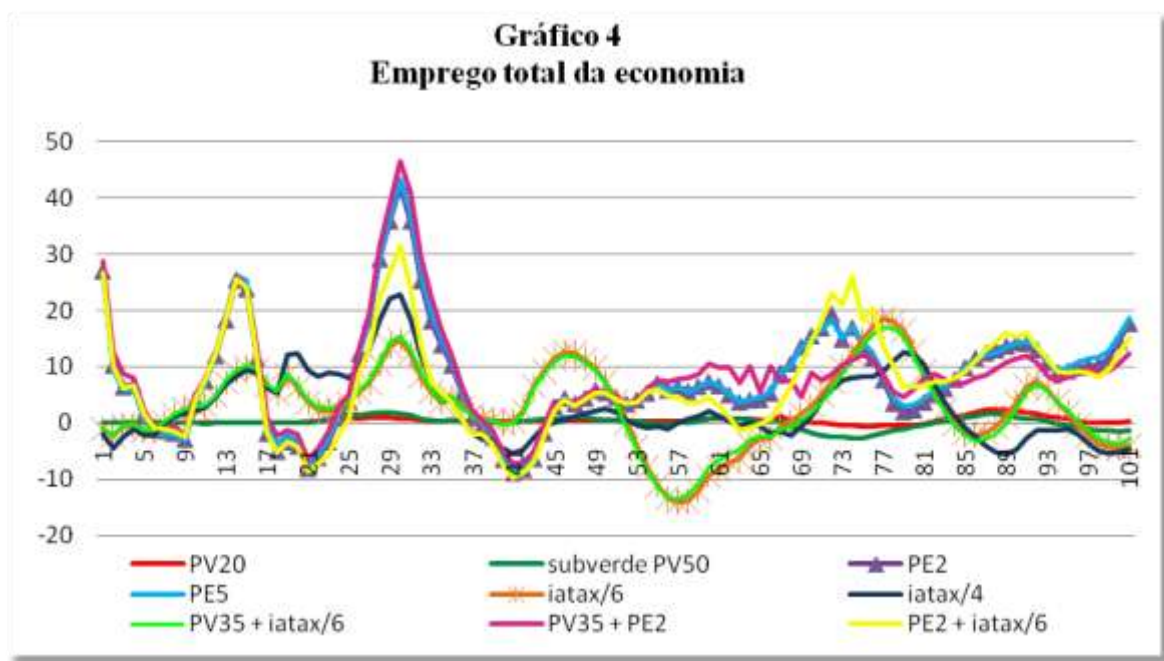


Gráfico 4: Emprego total da economia
Fonte: Elaboração Própria

Vê-se aumento no emprego para todas as políticas, sendo as maiores variações na média do período estudado para as políticas: PE2 (7,4%); PE5 (7,8%); PE2+iatax/6 (6,4%) e PV35 + PE2 (7,7%).

As políticas PV20 e PV50 não apresentaram variação significativa, e as demais, relativas ao imposto ambiental (iatax/6, iatax/4, e PV35+iatax/6) tiveram crescimento médio do emprego na casa dos 2,5%.

Analisando a trajetória, pode-se constatar uma correlação entre os períodos de pico no emprego com os períodos de pico da produção industrial⁵¹. Todavia, observando esses mesmos períodos no indicador ambiental, vê-se declives ao longo da trajetória para todos os casos em questão, fato que nos remete à duas questões: se nesses períodos houve aumento da produção e aumento do emprego, tendo observado uma queda na trajetória do indicador ambiental, a que se deve essa melhoria ambiental? Antes de uma primeira averiguação geral, deve-se analisar o salário real.

⁵¹ Mesmos períodos destacados anteriormente: 9 – 17; 25 – 37; 73 – 77; 89 – 97.

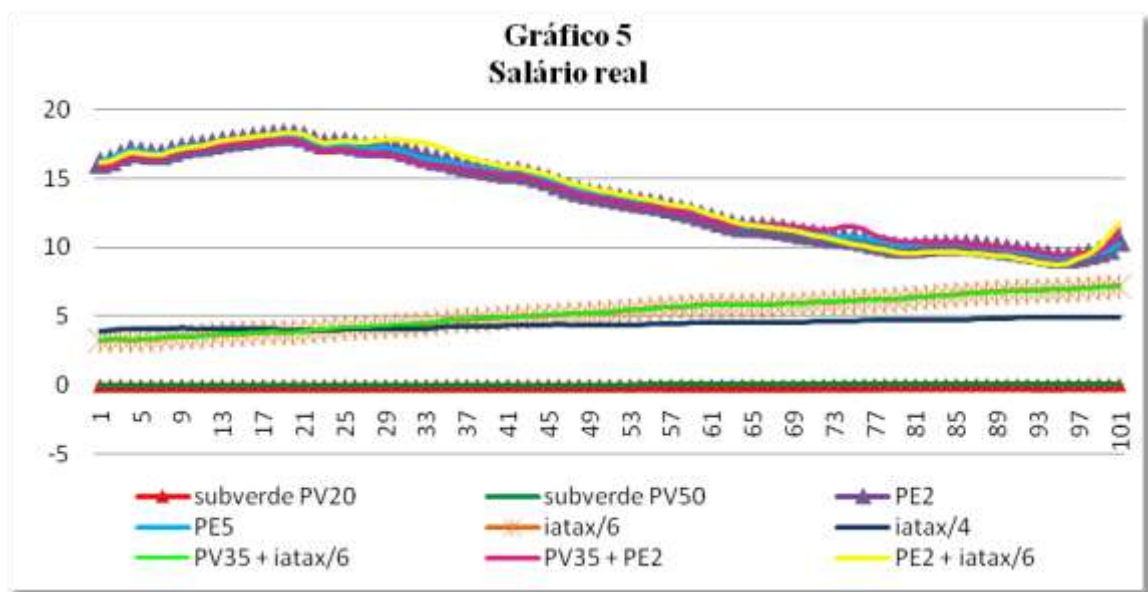


Gráfico 5: Salário real
Fonte: Elaboração Própria

Em se tratando primeiramente de média do período total, verifica-se que apenas as políticas PV20 e PV50 não apresentaram variação significativa. Todas as políticas que envolvem educação ambiental (PE2, PE5, PV35+PE2 e PE2+iatax/6) geraram aumento médio no salário real 13,5%. O imposto ambiental (iatax/4, iatax/6 e PV35+iatax/6) causou crescimento médio no salário de aproximadamente 5%.

Investigando agora os mesmos períodos destacados (9-17; 25-37, 73-77,89-97) nas análises antecedentes, pode-se observar três grupos de comportamento: i) o primeiro formado pelo PV20 e PV50 que não geraram efeitos; ii) o segundo formado por PE2+iatax/6, PE2, PE5, PV35+PE2; e iii) o terceiro constituído por iatax/6, PV35+iatax/6. Para os intervalos 25-37 e 73-77, pode-se ver que o segundo e o terceiro grupo apresentaram comportamentos inversos, enquanto um crescia o outro decrescia. Nos intervalos 9-17 e 89-97 esses mesmos grupos apresentaram crescimento. Por último e isoladamente, o iatax/4 apresenta uma trajetória suave de diferença percentual crescente.

Sobre as variáveis agregadas analisadas destacamos os seguintes resultados:

- a) Observa-se padrões de comportamento para quatro grupos de períodos, todos relacionados a picos no crescimento do produto industrial do setor B.
- b) Políticas conjuntas não geraram efeito maior que os resultados obtidos por políticas isoladas. A magnitude do impacto dessas políticas conjuntas é determinado por aquela política que gerou o maior efeito. Por exemplo: as políticas de educação ambiental (PE2 e PE5) foram as que obtiveram maior efeito sobre as variáveis até agora

estudadas, e as políticas conjuntas que incluem educação ambiental (PE2+PV35 e PE2+iatax/6) demonstraram efeito semelhante.

- c) Tem-se a seguinte ordem decrescente de impacto sobre a economia: educação ambiental, imposto ambiental, e subsídio à P&D “verde”.
- d) Para os períodos de crescimento do produto industrial observou-se aumento no emprego, aumento do salário real, queda do indicador ambiental, mas com exceção das políticas iatax/6 e PV35+iatax/6 (únicas que demonstraram resultados ambientais melhores em relação ao caso sem política), não verificou-se aumento na produtividade da indústria, nem movimentos ascendentes ao longo da trajetória, nem em relação à média do período total.

4.2 IMPACTO NO SETOR PÚBLICO

Observando a receita do governo, pode-se notar que a ordem de impacto por política obedece a mesma regra da seção anterior: maiores diferenças percentuais para as políticas de educação ambiental e suas políticas conjuntas; seguido por iatax/6 e PV35+iatax/6 com efeito similar, iatax/4 com uma trajetória específica de crescimento e decrescimento em relação à iatax/6; e, por fim, PV20 e PV50 sem grande diferença. Todas geraram aumento na receita e nos gastos do governo tanto ao longo da trajetória quanto se considerarmos a média total do período.

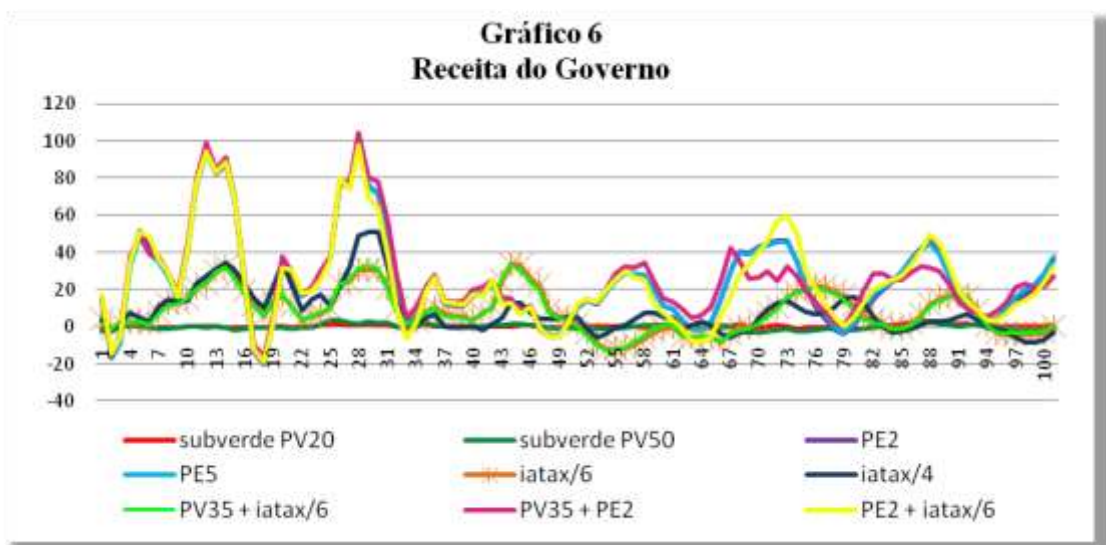


Gráfico 6: Receita do governo

Fonte: Elaboração Própria

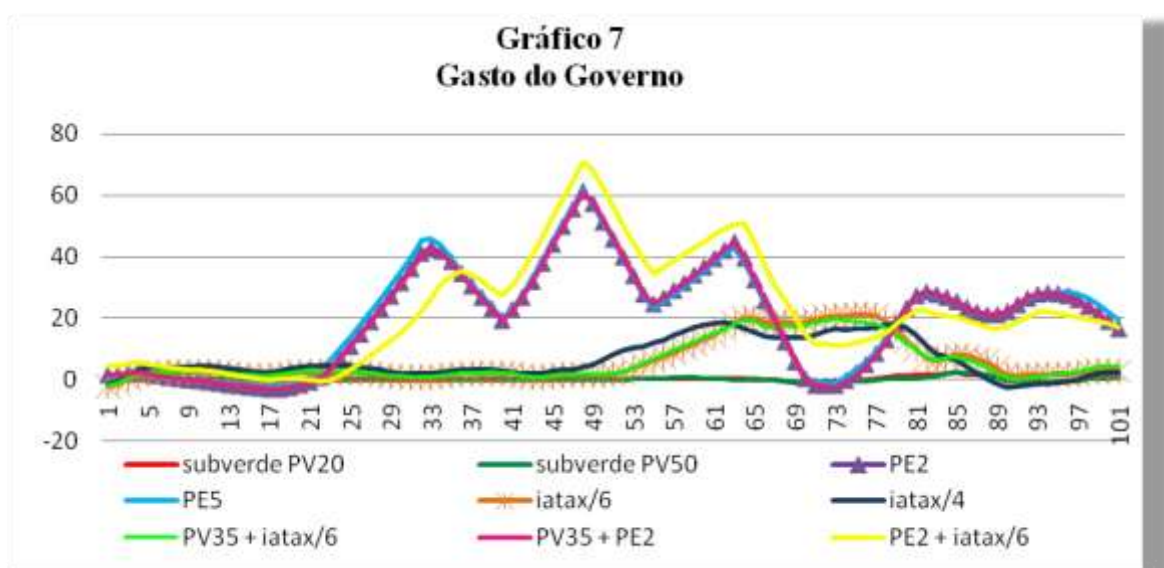


Gráfico 7: Gasto do governo
Fonte: Elaboração Própria

Para a dívida do governo verifica-se trajetória descendente até o período 61 para todas as políticas. A partir daí todas as políticas conjuntas e isoladas referentes ao imposto ambiental apresentaram leve crescimento. Para PE2, PE5 e PE2+PV35, mesmo tendo cessado a trajetória de queda no período 61, ainda assim a dívida encontra-se abaixo do valor relativo ao caso sem política. Como padrão apresentado até agora, as políticas PV20 e PV50 não surtiram impacto.

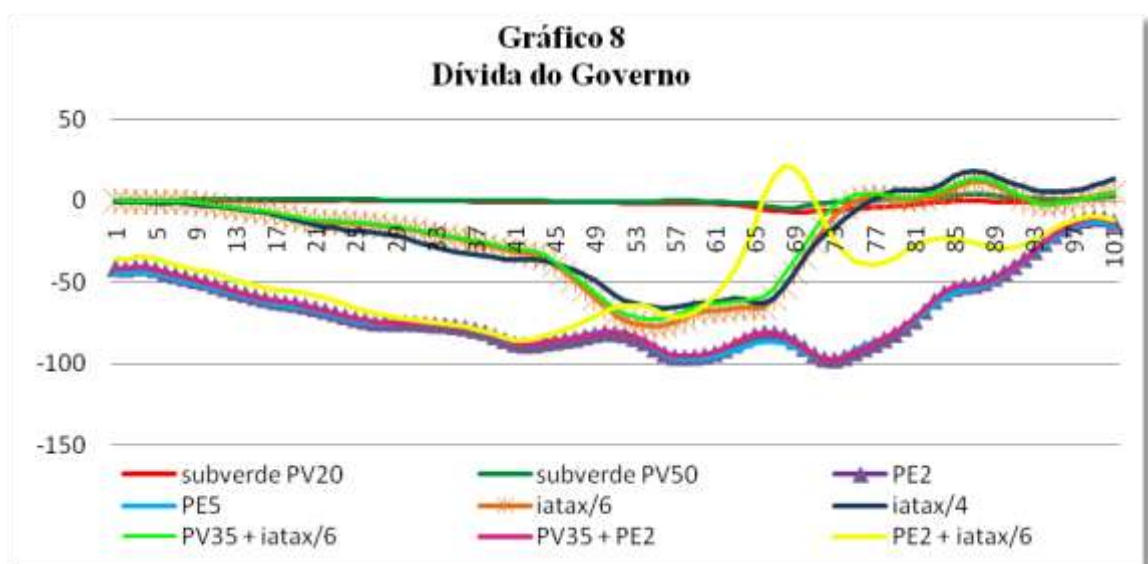


Gráfico 8: Dívida do governo
Fonte: Elaboração Própria

4.3 ANÁLISE MICROECONÔMICA

Para todos os casos de política (inclusive sob a ausência de política), as maiores firmas (com maior market-share médio) são a 1, 2 e 3. A firma 12 apresentou-se como quarta maior para todos os casos em que houve política de educação ambiental, e a firma 10 apresentou como quarta maior nos demais casos. Para evitar a exposição de um número muito grande de gráficos, esta seção aborda os principais resultados baseado em tabela onde consta a média das variáveis microeconômicas de cada firma (em anexo).

Continuando a investigação sobre a produtividade das firmas (τ), averigua-se que não houve aumento na produtividade individual das firmas como decorrência das políticas ambientais, nem para as firmas maiores (onde se esperava haver inovação), nem para as firmas menores. Apenas as políticas $iatax/4$, $iatax/6$ e $PV35+iatax/6$ obtiveram sucesso no incentivo à firma adotar processo produtivo ecoeficiente. As políticas $PV20$ e $PV50$, como indicado pelas evidências não surtiram efeitos significativos. Haja vista a invalidade destas últimas políticas, elas serão excluídas por hora da nossa arguição.

A competitividade média de todas as firmas apresentou aumento para todos os casos de políticas, sendo as maiores diferenças para as políticas de educação ambiental e suas combinações. Contudo, este aumento de competitividade apenas se transformou em aumento de *market share* para os casos do imposto ambiental ($iatax/4$, $iatax/6$ e $PV35+iatax/6$). Para uma alíquota mais elevada desse imposto ($iatax/4$), observa-se aumento do market-share das firmas maiores e redução das menores.

Todos os casos das políticas geraram um preço médio menor para todas as firmas, corroborando com o aumento do salário real apresentado. As políticas de educação ambiental geraram a maior queda no preço médio, em relação ao caso sem política. Como consequência, verificou-se também queda no lucro médio para todos os casos. Contudo, esta que no lucro foi muito maior para os casos da política de educação, pois não foi acompanhado de aumento na produtividade da firma.

Com esta exposição, constata-se que para as políticas do imposto ambiental que corroboraram com o objetivo ambiental do governo de promover uma produção ecoeficiente, foi observado conjuntamente ao aumento da produtividade a redução dos preços, decorrente da redução do custo do produto (obtido pela redução da quantidade de insumo necessário), aumentando por sua vez a competitividade da firma e seu market-share.

As políticas incidentes sobre a demanda, que envolvem a educação ambiental, em vez de gerar um estímulo à inovação, terminaram gerando um incentivo perverso: para não perder competitividade, as firmas abriram mão de sua lucratividade a fim de oferecer um produto a preço menor.

CONCLUSÃO

O novo paradigma ambiental estabelece a necessidade da busca por tecnologias limpas. Os *trade-offs* definidos por este paradigma são formados pelos elementos que compõem o desenvolvimento sustentável: economia, sociedade e meio-ambiente. Esta relação foi representada aqui através da construção de um indicador ambiental, que traduz o impacto ambiental exercido pela utilização de recursos (via oferta de produtos), e pela pressão do consumo.

Como retratado pela economia evolucionária, este trabalho abordou a firma como agente gerador da inovação ambiental, e a sociedade, que no mercado, exerce o papel de agente seletor dessas inovações. Contudo, como dito por Tigre (1994), dificilmente a firma decidirá por investir espontaneamente em inovação ambiental, haja vista a incerteza característica do processo inovativo. Assim, em um ambiente de incertezas, a política ambiental, enquanto instituição, é indispensável no seu papel de modificar o comportamento das firmas, levando-as a uma trajetória de tecnologia limpa.

Como as soluções ambientais do tipo PP são mais condizentes com o termo inovação, pois envolvem mudança no processo produtivo, e se constituem como condição essencial ao novo paradigma “verde”, as políticas ambientais apresentadas no presente estudo objetivaram conduzir as firmas à este tipo de tecnologia. As políticas formuladas no modelo MKS verde tiveram como objeto de ação a produtividade da firma. Dessa forma, uma inovação do tipo PP tem como resultado o aumento da produtividade da firma, o que significa redução na utilização de matéria-prima por produto, e conseqüentemente, diminuição na quantidade de resíduos gerados. Esses resíduos foram trabalhados no modelo como única causa de poluição.

Concluindo sobre a necessidade de se haver política ambiental, verifica-se uma divergência na literatura sobre o tipo de política que gera os melhores resultados. Porter e van der Linde (1995b) afirmaram que leis mais restritivas é que são capazes de promover soluções do tipo PP. Autores como Requate (1995), Jaffe et al. (2002) e Vollebergh (2007) alegaram que incentivos financeiros e de mercado são mais eficazes que políticas restritivas do tipo Comando e Controle. Entretanto, diversos outros estudos corroboraram com a afirmação de Porter. Milliman e Prince (1989) afirmaram que apenas os impostos sobre emissão e direitos transacionáveis promovem a inovação contínua. Ashford et al. (1985), em seu estudo sobre a indústria norte-americana, mostrou evidências empíricas sobre a correlação entre alta restrição da política ambiental e inovação ambiental. Yarime (2005) também encontrou esse mesmo

resultado para a indústria japonesa. Frondel et al. (2007) igualmente concluiu sobre a superioridade de políticas rígidas.

Através no modelo MKS verde, este trabalho testou esse resultado quanto à rigidez da política ambiental formalizando três tipos de política:

- a) um imposto ambiental sobre a utilização de recursos (princípio poluidor/usuário pagador), sendo este o caso de política mais restrita;
- b) um subsídio à P&D concedido às firmas que apresentarem uma produção eco-eficiente, configurando um incentivo econômico e;
- c) por último, como o caso mais moderado, pois incide apenas indiretamente sobre a firma, formulou-se um programa de educação ambiental.

Essas políticas formaram nove tipos de combinações diferentes, com diferentes valores para os parâmetros. Considerou-se, como simplificação, que apenas o setor de bens de consumo básico gera impacto ambiental sendo, portanto único setor alvo dessas políticas.

O resultado ambiental agregado de todas as políticas foi de um aumento no indicador, exceto para os períodos 53 a 61, mas que mostrou estar relacionado à queda na produção industrial nesse intervalo. Isto aponta para o fato, como ressaltado por Kemp e Foxon (2007), de que a propagação de eco-inovações não significa aumento da qualidade do meio-ambiente como um todo. As tecnologias baseadas na eco-eficiência, que reduzem custos, geram aumento de riqueza real, aumentando o consumo, que pressiona a oferta, terminando esta cadeia na maior utilização de recursos e emissões. Esse argumento corrobora também com o aumento no emprego e no salário real apresentado em todas as simulações⁵².

Todavia, a análise microeconômica dos dados aponta que apenas a política referente ao imposto ambiental surtiu o efeito desejado, gerando aumento na produtividade de todas as firmas. Isto condiz com o que Porter considera como “boa regulamentação ambiental”: quanto mais restritiva for a política, maior a capacidade de indução à inovação ambiental.

Quanto a ineficácia das duas outras políticas infere-se: o subsídio falhou no incentivo ao desenvolvimento de P&D “verde”, devido à sua excessiva moderação, pois é concedido apenas as firmas que apresentarem aumento na produtividade no período anterior. Não incorrendo em penalidade alguma, as firmas deveriam optar primeiramente por investir em P&D numa magnitude razoável para que se aumente sua probabilidade de sucesso em se obter uma inovação, para obter o subsídio na etapa seguinte, mas não como substituição ao seu

⁵² Exceto para os períodos 53 a 61, mas que está relacionado à queda no produto industrial, e que relaciona-se, por sua vez, ao ciclo econômico.

investimento em P&D e sim como um acréscimo. Esse incentivo mostrou-se insuficiente, estando de acordo com o resultado encontrado pela OECD (2007), de que os principais indutores para P&D ambiental são políticas restritivas.

A política de educação ambiental também não gerou o resultado esperado devido à ponderação dada pelos consumidores à preferência pela ecologia, no momento da sua escolha por produtos. Supôs-se, no MKS verde, que os consumidores atribuem um grau de importância maior ao preço do produto do que ao impacto ambiental associado à sua produção. Dessa forma, a firma optou por renunciar à uma parte de seu lucro para que pudesse oferecer ao consumidor um produto à um preço reduzido, de modo que fosse satisfatório ao consumidor substituir sua preferência pela ecologia pela preferência ao menor preço. Quanto à esta relação entre consumidor e ecologia, Turpitz (2004) afirma em seu estudo de caso que o desejo dos consumidores de pagar por um produto “verde” mostrou ser baixo e dependente de uma consciência ecológica. Além disso, segundo Kemp e Soete (1990), mesmo que haja avanço da consciência ambiental e da pressão social, a adoção de tecnologia ainda não se constitui prioridade nos objetivos da firma.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R. **Planejamento ambiental**: caminho para participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum: uma necessidade, um desafio. 2.ed. Rio de Janeiro: Thex Editora, 1999.
- ALMEIDA, L. T. O Debate internacional sobre instrumentos de política ambiental e questões para o Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 2., 1997. **Anais...** São Paulo, 1997. p. 3-21.
- ASHFORD, N. A. An Innovation-Based Strategy for a Sustainable Environment. In: HEMMELSKAMP, J.; RENNINGS, K.; LEONE, F. (Eds.). **Innovation-oriented environmental regulation**: theoretical approach and empirical analysis. ZEW Economic Studies. Springer Verlag, Heidelberg, New York, 2000.
- ASHFORD, N. A.; AYERS, C.; STONE, R. F. Using regulation to change the market for innovation, **Harvard Environmental Law Review**, v. 9, p. 419-466, 1985.
- ASHFORD, N. A.; HEATON, G. R.; PRIEST, W. C. Environmental, health and safety regulations and technological innovation. In: HILL, C. T.; UTTERBACK, J. M. (Eds.). **Technological innovation for a dynamic economy**. New York: Pergamon Press, 1979. p. 161-221. Disponível em <http://hdl.handle.net/1721.1/1554>
- BAIN, J. S. **Industrial organization**. New York: John Wiley & Sons, 1959.
- BARKER, T. **The transition to sustainability**: a comparison of general–equilibrium and space–time–economics approaches. Tyndall Centre Working Paper, 2004. (v. 62)
- BARKER, T.; KOHLER, J.; VILLENA, M. Costs of greenhouse gas abatement: meta-analysis of post-SRES mitigation scenarios. **Environmental Economics and Policy Studies**, v. 5, p. 135–166, 2002.
- BECKER, F.; ENGELMANN, F.C. Public policy, voluntary initiatives and water benign process innovations: empirical evidence from the west german chemical industry during the mid-1990s. In: WEBER, M.; HEMMELSKAMP, J. (Eds.) **Towards environmental innovation systems**. Berlin: Springer, 2005.
- BECKER, R.; HENDERSON, V. Effects of air quality regulations on polluting industries, **Journal of Political Economy**, v. 108, p. 379-421, 2000.
- BOHRINGER, C., 2004. Sustainability impact assessment: the use of computable general equilibrium models. *Économie Internationale* 99, 9–26 (3e trimestre).
- BOHRINGER, C.; LOSCHEL, A. Computable general equilibrium models for sustainability impact assessment: status quo and prospects, *Ecological Economics*. **Elsevier**, v. 1, nov. 2006.

BRUNNERMEIER, S. B.; COHEN, M. A. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, p. 278-293, 2003.

CÁNEPA, E. M. Economia do meio ambiente. In: _____. **Introdução a economia**. São Paulo: ATLAS, 1995. Cap. 16: p. 413-438.

CARNEIRO, R. **Direito ambiental**: uma abordagem econômica. Rio de Janeiro: Forense, 2001.

CARRILLO-HERMOSILLA, J. A policy approach to the environmental impacts of technological lock-in. **Ecological Economics**, v. 58, p. 717-742, 2006.

CAVALCANTI FILHO, P. F. M. B. **Ciclo econômico e instabilidade estrutural**: um modelo evolucionário multissetorial Minsky-Keynes-Schumpeteriano. 2002. 280 f. Tese (Doutorado em Economia da Indústria e da Tecnologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

CAVALCANTI FILHO, P. F. M. B.; LUSTOSA, M. C.; YOUNG, C. E. F. Environmental innovation and evolutionary economics: a theoretical model. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 28., 2000. **Anais...** ANPEC: Campinas, 2000.

CHRISTIANSEN, A. C. Climate policy and dynamic efficiency gains. A case study on Norwegian CO₂-taxes and technological innovation in the petroleum sector, **Climate Policy**, p. 499-515, 2001.

CIMOLI, M.; CANUTO, O. Patterns of Specialization, Economic Growth and the Balance-of-payments Constraint. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA/ANPEC, 25., 1997. **Anais...** ANPEC, 1997. v. 3, p. 1427-1445.

CIMOLI, M.; DOSI, G., Technological paradigms, patterns of learning and development: an introductory roadmap. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 5, n. 3, p. 64-88, set. 1995.

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

DECANIO, S. J. **Economic models of climate change**: a critique. Palgrave Macmillan, 2003.

DERANI, C. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Max Limonad, 1997.

DORFMAN, M. H.; MUIR, W. R.; MILLER, C. **Environmental dividends**: cutting more chemical wastes. New York: INFORM, 1992.

DOSI, G. Sources, Procedures and microeconomics effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, n. 3, 1988.

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

DOSI, G. *The Nature of the Innovative Process*. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVEMBERG, G.; SOETE, L. (Coords.) *Technical Change and Economical Theory*. Pinter Publishers – London – 1988.

DOSI, G.; METCALFE, S. On some notions of irreversibility in economics. In: SAVIOTTI, P.; METCALFE, S. (Eds.) **Evolutionary theories of economic and technological change: present status and future prospects**. Chur: Harwood Academic Publ., 1991.

DOWNING, P. B.; WHITE, L. J. Innovation in Pollution Control. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 13, p. 18–29, 1986.

FERRAZ, C.; SEROA DA MOTA, R. Regulação, mercado, ou pressão social: os determinantes do investimento ambiental na indústria. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 29., 2001. **Anais...** ANPEC: Salvador, 2001.

FREEMAN, C. **Economics of industrial innovation**. Cambridge: MIT. 1982.

FREEMAN, C. Introduction. In: DOSI, G.; NELSON, R.; SILVERBERG, G. E.; SOETE, L. (Eds.) **Technical change and economic theory**. London: Frances Pinter. 1988.

FREEMAN, C. The economics of technical change. **Cambridge Journal of Economics**, v. 18, p. 463-514, 1994.

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, p. 571-584, 2007.

FRYDMAN, R. Towards an understanding of market processes: individual expectations, learning, and convergence to rational expectations equilibrium. **American Economic Review**, v. 72, p. 652-68, Set. 1982.

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. Pitman Publishing: London, 1996. 364 p.

GEORGE, K.; JOLL, C. **Organização industrial: crescimento e mudança estrutural**. Rio de Janeiro: Zahar, 1983.

GRAY, W. B. The cost of regulation: OSHA, EPA, and the productivity slowdown. **American Economic Review**, v. 77, n. 5, p. 998-1006, 1987.

GREENSTONE, M. The impacts of environmental regulations on industrial activity: evidence from the 1970 and 1977 clean air act amendments and the census of manufactures, **Journal of Political Economy**, v. 110, p. 1175-1219, 2002.

HALL, P. **Innovation, economics and evolution: theoretical perspectives on changing technology in economic systems**. New York: Harvester Wheatsheaf, 1994.

HASENCLEVER, L.; FERREIRA, P. M. Estrutura de mercado e inovação. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (Orgs.) **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: ed. Campus, 2002. Cap. 7, pág. 129-147. 2002.

HAZILLA, M.; KOPP, R. J. Social cost of environmental quality regulations: a general equilibrium analysis. **Journal of Political Economy**, v. 98, n. 4, p. 853-873, 1990.

HOGLUND ISAKSSON, L. Abatement costs in response to the swedish charge on nitrogen oxide emissions. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 50, p. 102-120, 2005.

JAFFE, A. B. S.; PORTNEY, P.; STAVINS, R. N. **Environmental regulations and the competitiveness of U.S. Industry**. Cambridge: Economics Resource Group, 1993.

JAFFE, A. B., S.; PORTNEY, P.; STAVINS, R. N. Environmental regulation and international competitiveness: what does the evidence tell us. **Draft**, v. 13, jan. 1994.

JAFFE, A.; NEWELL, R.; STAVINS, R. Environmental policy and technological change, **Environmental and Resource Economics**, v. 22, p. 41-69, 2002.

JAFFE, A.; NEWELL, R.; STAVINS, R. Technological change and the environment. In: MÄLER, K. G.; VINCENT, J. (Eds). **Handbook of environmental economics**. Amsterdam: North-Holland/Elsevier Science, 2003. p. 461-516.

JAFFE, A.; STAVINS, R. **Evaluating the relative effectiveness of economic incentives and direct regulation for environmental protection**: impacts on the diffusion of technology, paper for WRI/OECD-symposium "Toward 2000: Environment, Technology and the New Century, June p. 13-15, jun. 1990, Annapolis, Maryland.

JOHNSON, B. Introduction of part I systems of innovation: overview and basis concepts. In: EDQUIST, C. (Ed.). **Systems of innovation**: technologies, institutions, and organizations. Londres, 1997.

JORGENSEN, D. W.; WILCOXEN, P. J. Environmental regulation and U.S. economic growth. **Rand Journal of Economics**, Summer, v. 21, n. 2, p. 314-340, 1990.

KEMP, R. ARUNDEL, A. **Survey** indicadores for environmental innovation. **IDEA**, Paper Serie, v. 8, 1998.

KEMP, R.; FOXON, T. Typology of Eco-Innovation. In: **MEI project**: measuring Eco-Innovation. Disponível em: <<http://www.merito.unu.edu>>. Acesso em: 08 dez. 2008.

KEMP, R.; PONTOGLIO, S. The innovation effects of environmental policy instruments: a typical case of the blind men and the elephant. Paper for DIME WP 2.5 Workshop on Empirical Analyses of Environmental Innovations, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI), Karlsruhe, January, 17th-18th, 2008.

KEMP, R.; SOETE, L. Inside the 'Green Box': on the economics of technological change and the environment. In: FREEMAN, C.; SOETE, L. (Eds.). **New explorations in the economics of technological change**. London: Pinter, 1990.

KOHLER, J. et al. The transition to endogenous technical change in climate-economy models: a technical overview to the innovation modeling comparison project. **The Energy Journal**, v. 27, p. 17-56, Special Issue, 2006.

KON, A. **Economia industrial**. São Paulo: Nobel, 1999.

LANJOUW, J.O.; MODY, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. **Research Policy**, v. 25, p. 549-571, 1996,

LEONARD, H. J. **Pollution and the struggle for world product**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

LÓPEZ, A. **competitividad, innovacion y desarrollo sustentable: uma discusión conceptual**. Buenos Aires: CENIT, 1996.

LUSTOSA, M. C. **Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo**. 2002. Tese (Doutorado em Economia da Indústria e da Tecnologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

MAZZANTINI, M.; ZOBOLI, R. Examining the factors influencing environmental innovation. **FEEM**, Nota di lavoro 20, 2006b.

MAZZANTINI, M.; ZOBOLI, R., Economic instruments and induced innovation: the european policies on end-of-life vehicles. **Ecological Economics**, v. 58, p. 318-337, 2006a.

MEYER, S. M., **Environmentalism and economic prosperity: an update**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1993.

MEYER, S. M., **Environmentalism and economic prosperity: testing the environmental impact hypothesis**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1992.

MILLIMAN, S. R.; PRINCE, R. Firm Incentives to promote technical change in pollution control. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 17, p 247-265, 1989.

NELSON, R. **The sources of economic growth**. Havard College, 1996.

NELSON, R.; WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge, Belknap Press, 1982.

NEWELL, R. G.; JAFFE, A. B.; STAVINS, R. The induced innovation hypothesis and energy-saving technological change. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 114, p. 941-975, 1999.

OATES, W.; PALMER, K. L.; PORTNEY, P. Environmental regulation and inter-national competitiveness: thinking about the porter hypothesis. **Resources for the Future Working Paper**, p. 94-102, 1993.

OECD. 1994b. The Distributive Effects of Economic Instruments for Environmental Policy. Organisation for Economic Co-operation and Development: Paris. 159 p.

OECD. Project and policy appraisal: integrating economics and environment. Paris: Organization for economic co-operation and development, 1994a. 346p.

PALMER, K. L.; SIMPSON, R. D. Environmental policy as industrial policy. **Resources**, v. 112, p. 17-21, Summer, 1993.

PATTERSON, M. G. et al. Ecological pricing and transformity: a solution method for systems rarely at general equilibrium. **Ecological Economics**, v. 56, n. 3, p. 412–423, 2006.

PEARCE, D. W. **Economia ambiental**. México: Fundo de cultura econômica, 1985. 258p.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Londres: Harvest Wheatsheat, 1990. 378p.

PERMAN, R. et al. **Natural resource and environmental economics**: pollution control targets e pollution control: instruments. 2ª ed. Inglaterra: Longman, 1999.

PODCAMENI, M. G. V. B. Meio ambiente, inovação e competitividade: uma análise da indústria de transformação brasileira com ênfase no setor de combustível. 2007. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

POPP, D. Pollution control innovations and the clean air act of 1990, **Journal of Policy Analysis and Management**, v. 22, p. 641-660, 2003.

PORTER, M. E. America's green strategy. **Scientific American**, v. 264, p. 168, April, 1991.

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995b.

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment: competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995a.

POSSAS, M. L. **Dinâmica e ciclo econômico em oligopólio**. Tese (Doutorado). Universidade de Campinas. Campinas, 1983.

POSSAS, M. L. et al. Um modelo evolucionário setorial. **Revista Brasileira de Economia**, v. 55, n. 3, p. 333-77, jul.-set. 2001.

POSSAS, M. L.; KOBLITZ, A. **A sectoral evolutionary model**. Disponível em <<http://www.druid.dk/conferences/nw/>>. Acesso em 20 mar. 2009

RAMMEL, C. Sustainable development and innovations: lessons from the red queen. **International Journal of Sustainable Development**, v. 6, n. 4, p. 395-416, 2003.

RENNINGS, K. et al. Blueprints for an Integration of Science, Technology and Environmental Policy (BLUEPRINT), Final Report of 5th Framework Strata project, 2003.

RENNINGS, K. Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from ecological economics, **Ecological Economics**, p. 32, 319-322, 2000.

RENNINGS, K.; ZIEGLER, A.; ZWICK, T. The effect of environmental innovations on employment changes: an econometric analysis. **Business Strategy and the Environment**, v. 13, p. 374-387, 2003.

REQUATE, T. Dynamic incentives by environmental policy instruments: a survey. **Ecological Economics**, v. 54, n. 2-3, p. 175-195, 2005.

REQUATE, T.; UNOLD, W. **Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology**: will the true ranking please stand up? **European Economic Review**, v. 47, p. 125-146, 2003.

RESENDE, M.; BOFF, H. Concentração industrial. In: KUPFER, D. HASENCLEVER, I. (Org). **Economia industrial**: fundamentos teóricos e práticos no Brasil. Rio de Janeiro: Campus, 2002. Cap. 4: p. 73-90.

SARTORIUS, C. Second-order sustainability: conditions for the development of sustainable innovations in a dynamic environment. **Ecological Economics**, v. 58, p. 268-286, 2006.

SARTORIUS, C.; ZUNDEL, S. (Eds.) **Time strategies, innovation and environmental policy**. Advances in Ecological Economics Edward Elgar, Cheltenham, UK. 2005.

SCHMALENSEE, R. **The costs of environmental regulation**. Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy and Environmental Policy Research Working Paper 93-015, 1993.

SCRIECIU, S. **The inherent dangerous of using computable general equilibrium models as a single integrated modelling framework for sustainability impact assessment**: a critical note on Böhringer and Löschel Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research, Department of Land Economy, The University of Cambridge, Cambridge, CB2 1QA, UK., 2006.

SEROA DA MOTTA, R. **Application of economic instruments for environmental management in Latin America**: from theoretical to practical constraints OAS Meeting on Sustainable Development in Latin America and the Caribbean: Policies, Programs and Financing, Washington, D.C., October 30, 1998b.

SEROA DA MOTTA, R. et al. Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica na indústrias da bacia do Rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro: IPEA/DIPES, 2005 (Texto para Discussão, v. 1084).

SEROA DA MOTTA, R. **Indicadores ambientais no Brasil**: aspectos ecológicos, de eficiência e distributivos. Rio de Janeiro: IPEA/DIPES, 1996 (Texto para Discussão, v. 403).

SEROA DA MOTTA, R. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: MMA, 1998c.

SEROA DA MOTTA, R. O uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental. Rio de Janeiro: IPEA, 2000.

SEROA DA MOTTA, R. **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil**. Rio de Janeiro: DIPES/IPEA, 1998 (Texto para Discussão, v. 556).

SEROA DA MOTTA, R.; RUITENBEEK, J.; HUBER, R. **Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações**. Rio de Janeiro: IPEA, 1996 (Texto para Discussão, v. 440)

SEROA DA MOTTA, R; YOUNG, C. **Instrumentos econômicos para gestão ambiental no Brasil**. Rio de Janeiro: 1997.

SHADBEGIAN, R. J.; GRAY, W. B. Pollution abatement expenditures and plant-level productivity: a production function approach. **Ecological Economics**, v. 54, p. 196-208, 2005.

SIMPSON, R. D. **Taxing variable cost**: environmental regulation as industrial policy. Resources for the Future Working Paper ENR93-12, 1993

STIGLITZ, J. E. Technological change, sunk costs, and competition. **Brookings papers on economic activity**, v. 3, 1987; Special issue of Microeconomics, M. N. Baily and Winston, eds. 1988, pp. 883-947. 1988.

TAYLOR, M. R.; RUBIN, E. S.; HOUNSHELL, D. A. Control of SO₂ emissions from power plants: a case of induced technological innovation in the US. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 72, p. 697-718, 2005.

THE ECONOMIST. **Economic models**: big questions and big numbers. The Economist print edition, 2006.

TIGRE, P. B. (Org.) **Tecnologia e meio ambiente**: oportunidades para a indústria. Rio de Janeiro. UFRJ. 1994. 139p.

TIGRE, P. B. Inovação e teorias da firma em três paradigmas. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 68-111, jan-jun, 1998.

TURPITZ, K. The determinants and effects of environmental product innovations: an analysis on the base of case studies. **Zew Discussion Paper** 04-02. (2004).

VAN DE VEN, A. H. et al. **The innovation journey**. New York: Oxford University Press, 1999.

VAN DER LINDE, C. The micro-economic implications of environmental regulation: a preliminary framework. In: **Environmental Policies and Industrial Competitiveness**. Paris: Organization of Economic Co-Operation and Development, pp. 69-77, 1993.

VOLLEBERGH, H. **Impacts of environmental policy instruments on technological change**. OECD Report, 07-Feb-2007.

WHEELER, D.; MODY, A. International investment location decisions: the case of U.S. Firms. **Journal of International Economics**, v. 33, p. 57-76, p. 1992.

YARIME, M. **From end-of-pipe technology to clean technology: effects of environmental regulation on technological change in the Chlor-Alkali industry in Japan and Western Europe**. Dissertação. Universidade de Maastricht, The Netherlands. 2003.

YOUNG, C. E. F.; LUSTOSA, M. C. J. Meio ambiente e competitividade na indústria brasileira. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 231-239, Edição Especial, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A

TAUB MÉDIO

	sem política	PV20	PV50	iatax/4	iatax/6	PE2	PE5	PE2+PV35	PV35+iatax/6	PE2+iatax/6
firma 1	4.3399	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.337	4.341	4.338
firma 2	4.3398	4.340	4.339	4.339	4.341	4.337	4.337	4.336	4.341	4.338
firma 3	4.3393	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.338	4.342	4.338
firma 4	4.3400	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.335	4.342	4.338
firma 5	4.3400	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.336	4.342	4.338
firma 6	4.3398	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.336	4.341	4.338
firma 7	4.3401	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.337	4.341	4.338
firma 8	4.3399	4.340	4.336	4.339	4.342	4.337	4.337	4.338	4.341	4.338
firma 9	4.3401	4.340	4.336	4.339	4.342	4.337	4.337	4.337	4.341	4.338
firma 10	4.3402	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.335	4.342	4.338
firma 11	4.3400	4.340	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.336	4.342	4.338
firma 12	4.3398	4.339	4.339	4.339	4.342	4.337	4.337	4.338	4.342	4.337

COMPETITIVIDADE MÉDIA

	sem política	PV20	PV50	iatax/4	iatax/6	PE2	PE5	PE2+PV35	PV35+iatax/6	PE2+iatax/6
firma 1	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.424	0.315	0.425
firma 2	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.424	0.315	0.425
firma 3	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.424	0.315	0.425
firma 4	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.554	0.424	0.315	0.425
firma 5	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.424	0.554	0.424	0.315	0.425
firma 6	0.2991	0.299	0.299	0.312	0.315	0.425	0.555	0.424	0.315	0.425
firma 7	0.2991	0.299	0.299	0.313	0.315	0.426	0.556	0.425	0.315	0.427
firma 8	0.2992	0.299	0.299	0.313	0.315	0.424	0.554	0.424	0.315	0.425
firma 9	0.2991	0.299	0.299	0.313	0.315	0.426	0.556	0.425	0.315	0.426
firma 10	0.2991	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.425	0.315	0.426
firma 11	0.2991	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.425	0.315	0.426
firma 12	0.2991	0.299	0.299	0.313	0.315	0.425	0.555	0.426	0.315	0.425

MARKET-SHARE MÉDIO

	sem política	PV20	PV50	iatax/4	iatax/6	PE2	PE5	PE2+PV35	PV35+iatax/6	PE2+iatax/6
firma 1	0.0935	0.094	0.094	0.096	0.094	0.093	0.092	0.093	0.094	0.093
firma 2	0.0935	0.094	0.094	0.096	0.094	0.093	0.093	0.093	0.094	0.094
firma 3	0.0905	0.090	0.090	0.088	0.089	0.095	0.094	0.095	0.089	0.095
firma 4	0.0754	0.075	0.075	0.074	0.070	0.095	0.081	0.080	0.070	0.081
firma 5	0.0806	0.081	0.081	0.079	0.078	0.095	0.075	0.074	0.078	0.075
firma 6	0.0778	0.078	0.078	0.076	0.077	0.095	0.069	0.068	0.077	0.067
firma 7	0.0832	0.083	0.083	0.084	0.086	0.095	0.083	0.083	0.086	0.082
firma 8	0.0775	0.077	0.077	0.076	0.075	0.095	0.076	0.075	0.075	0.076
firma 9	0.0833	0.083	0.083	0.084	0.086	0.095	0.082	0.083	0.086	0.081
firma 10	0.0859	0.086	0.086	0.087	0.091	0.095	0.086	0.086	0.091	0.087

firma 11	0.0770	0.077	0.077	0.078	0.075	0.095	0.086	0.086	0.075	0.086
firma 12	0.0831	0.083	0.083	0.084	0.086	0.095	0.087	0.087	0.086	0.088

PREÇO MÉDIO

	sem política	PV20	PV50	iatax/4	iatax/6	PE2	PE5	PE2+PV35	PV35+iatax/6	PE2+iatax/6
firma 1	3.3636	3.363	3.362	3.210	3.192	2.961	2.963	2.965	3.192	2.955
firma 2	3.3636	3.363	3.362	3.210	3.192	2.960	2.962	2.965	3.192	2.955
firma 3	3.3636	3.363	3.362	3.210	3.192	2.961	2.962	2.966	3.192	2.955
firma 4	3.3635	3.363	3.362	3.210	3.192	2.961	2.964	2.968	3.192	2.956
firma 5	3.3635	3.363	3.362	3.210	3.192	2.967	2.972	2.971	3.192	2.961
firma 6	3.3639	3.363	3.362	3.210	3.193	2.960	2.961	2.964	3.192	2.954
firma 7	3.3639	3.363	3.362	3.210	3.193	2.951	2.952	2.957	3.192	2.945
firma 8	3.3636	3.363	3.362	3.210	3.192	2.966	2.970	2.970	3.192	2.960
firma 9	3.3639	3.363	3.362	3.210	3.193	2.952	2.953	2.957	3.192	2.946
firma 10	3.3640	3.363	3.362	3.210	3.192	2.955	2.956	2.961	3.192	2.949
firma 11	3.3641	3.363	3.362	3.210	3.193	2.955	2.956	2.960	3.192	2.949
firma 12	3.3639	3.363	3.362	3.210	3.193	2.955	2.956	2.949	3.192	2.961

LUCRO MÉDIO

	sem política	PV20	PV50	iatax/4	iatax/6	PE2	PE5	PE2+PV35	PV35+iatax/6	PE2+iatax/6
firma 1	1053.8456	1057.583	1053.702	956.700	915.486	645.914	646.625	650.684	912.347	634.356
firma 2	1053.1085	1058.022	1053.994	957.048	913.748	643.981	645.462	648.128	911.027	632.414
firma 3	1024.4280	1029.060	1024.167	882.233	863.296	649.233	647.489	654.148	860.278	639.897
firma 4	862.2457	866.212	861.369	741.989	682.635	553.418	556.432	554.505	680.407	543.222
firma 5	913.6404	918.000	913.487	786.584	761.724	492.757	497.110	497.206	758.923	486.595
firma 6	880.2945	884.164	880.597	756.191	742.552	445.960	457.254	449.465	740.196	433.924
firma 7	932.5204	936.688	932.605	833.498	828.481	594.008	595.496	599.043	826.110	572.161
firma 8	877.7515	880.933	877.789	755.482	731.505	487.822	491.678	492.307	729.106	483.035
firma 9	933.0982	936.514	932.178	833.797	828.330	581.611	583.732	587.495	826.245	563.934
firma 10	955.9078	959.978	956.573	866.466	880.075	605.401	607.433	607.670	877.873	592.219
firma 11	870.6574	874.968	870.959	774.702	729.340	601.426	604.135	605.534	726.631	588.015
firma 12	931.8507	934.766	930.598	833.904	829.653	612.189	613.833	596.739	826.527	612.183