

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Pós-Graduação em Economia Aplicada  
Mestrado em Economia Aplicada

**Marcos Paulo Novais Silva**

**PROJEÇÃO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL, PARA O PERÍODO 2006 A 2015:  
uma análise com base na integração de modelos macroeconômico e insumo-produto**

**Juiz de Fora**

**2009**

**Marcos Paulo Novais Silva**

**Projeção de Emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil, para o período 2006 a 2015: uma análise com base na integração de modelos macroeconômico e insumo-produto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Área de Concentração: Economia Regional e Urbana, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Aarestrup Arbex

Juiz de Fora

2009

Silva, Marcos Paulo Novais.

Projeção de emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil, para o período 2006 a 2015: uma análise com base na integração de modelos macroeconômico e insumo-produto / Marcos Paulo Novais Silva. – 2009.

95 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)—Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

1. Desenvolvimento econômico. 2. Ar - Poluição. 3. Meio ambiente.  
I. Título.

CDU 338.98

**Marcos Paulo Novais Silva**

**PROJEÇÃO DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL, PARA O PERÍODO 2006 A 2015:  
uma análise com base na integração de modelos macroeconômico e insumo-produto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Área de Concentração: Economia Regional e Urbana, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Aprovada em: 17/12/2009.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fernando Salgueiro Perobelli (Orientador)  
FEA- Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr. Marcelo Aarestrup Arbex (Co-orientador)  
University of Windsor

---

Prof. Dr. Eduardo Amaral Haddad  
FEA- Universidade de São Paulo

---

Profa. Dra. Suzana Quinet Bastos  
FEA- Universidade Federal de Juiz de Fora

*Aos meus pais, Paulo e Alcione, por todo apoio, amor e carinho. Aos tios, irmão, namorada, avós, primos e amigos, pela torcida e ajuda nos momentos difíceis durante a concretização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço aos meus pais, Paulo e Alcione, e irmão, Bruno, por todo apoio, carinho e compreensão. Importante também foi a dedicação e compreensão da namorada, Fabiana, que sempre esteve ao meu lado incondicionalmente.

Ao meu orientador, tanto da graduação quanto do mestrado, Prof. Fernando Salgueiro Perobelli, deixo meu eterno agradecimento por toda ajuda, conselhos, ensinamentos, incentivos e paciência durante todo período de trabalho.

A Prof. Suzana Quinet Bastos deixo meu agradecimento pelas sugestões que foram decisivas para conclusão da dissertação.

Ao Prof. Eduardo Almeida sempre disposto a fornecer conselhos e ensinamentos.

Ao Prof. Marcelo Aarestrup Arbex, que participou na elaboração desta dissertação, como co-orientador.

Aos demais professores que fazem o Curso de Mestrado em Economia Aplicada (CMEA) acontecer. Ao CMEA só tenho a agradecer por ser um curso novo, de excelência, em pleno crescimento e que possibilita diversas oportunidades de crescimento aos seus alunos.

Agradeço ao Prof. Eduardo Amaral Haddad pela presença na banca examinadora que engrandece esta pesquisa.

Aos meus familiares, que mesmo à distância tiveram um papel importante nesta etapa, sempre torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus colegas de mestrado: Filipe, Philipe, Diego, Estefânia, Bruno, Rejane, Terciane, Pedro, Rafael, Flaviane, Vinicius, Sandro e Gláucia.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram na concretização deste trabalho.

Muito obrigado!

## RESUMO

A questão ambiental, em especial as emissões de dióxido de carbono tem se tornado muito relevante para o campo de estudo da economia. O problema da crescente taxa mundial de emissão de dióxido de carbono é que culmina em maior concentração deste gás na atmosfera e este por sua vez causa um aumento na temperatura média do planeta. O aumento na temperatura do planeta gera uma série de desequilíbrios, dentre eles: alterações na pluviosidade, desertificação e degelo em determinadas regiões, impactos na produção agrícola, e na saúde humana. A dificuldade de encontrar uma solução para o aquecimento global se dá no mesmo passo da dificuldade de encontrar formas de sustentar o crescimento econômico sem aumentar o consumo de combustíveis, em especial fósseis. Logo há uma necessidade de se pensar a questão ambiental em conjunto com crescimento econômico. As perspectivas futuras para o Brasil indicam uma alta taxa de crescimento nas emissões, se comparado às taxas dos países pertencentes a OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico). Para previsão das emissões diretas de CO<sub>2</sub> esta dissertação utiliza um modelo integrado de insumo-produto e macroeconômico. Ao utilizar um modelo integrado os choques induzidos no modelo de insumo-produto deixam de ser aleatórios (ad-hoc) e se tornam macro-fundamentados dando consistência macroeconômica ao modelo. Foram necessários os seguintes dados para construção do modelo: matrizes de insumo-produto de 1990 a 2005, emissões diretas de CO<sub>2</sub> setoriais de 2005, previsão de taxa de crescimento da população brasileira e de consumo de energia renovável e não renovável. No que tange aos resultados setoriais pode-se dizer que: todos os setores econômicos aumentarão suas emissões no período de 2006 a 2015, a concentração das emissões em poucos setores permanece, o setor de transporte é em 2005 o maior emissor e ainda o será em 2015. A proposta de cenários indicou que o setor de transportes é, dentre todos os setores, o mais sensível a alterações na taxa de oferta de trabalho e de uso de fontes renováveis e não renováveis.

Palavras Chave: Insumo-Produto. Modelo Macroeconômico. Emissões.

## ABSTRACT

Environmental issues, particularly emissions of carbon dioxide play an important role in the research agenda of the field of economics. The problem of the increasing rate of global emissions of carbon dioxide is that culminates in a higher concentration of this gas in the atmosphere and this in turn causes an increase in global average temperature. The increase in temperature of the planet generates a series of imbalances, including: changes in rainfall, desertification and melting in some regions, impacts on agricultural production and human health. The difficulty of finding a solution to global warming occurs at the same pace of the difficulty of finding ways to sustain economic growth without increasing fuel consumption, especially fossil fuels. Thus, is necessary to think about environmental issues along with economic growth. Future prospects for Brazil indicate a high rate of growth in emissions, compared to the rate of countries in the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). To estimate the direct emissions of CO<sub>2</sub> this research uses a model that integrates an input-output and macroeconomic models. By using an integrated model the shocks induced in the input-output model no longer random (ad-hoc) and become macro-based giving consistency to the model. The data used to build the model are: input-output matrices from 1990 to 2005, direct emissions of CO<sub>2</sub> industry, 2005 forecast growth rate of the Brazilian population and consumption of renewable and non renewable resources. The results of this research in general indicate that: all economic sectors will increase their emissions between 2006 and 2015; the concentration of emissions in a few sectors will continue; and in terms of emission the transportation sector in 2005 is the largest and still be in 2015. The proposed scenarios indicated that the transport sector is the most susceptible to changes in the labor supply and use of renewable and non renewable energies.

Keywords: Input-Output. Macroeconomic Model. Emissions.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Trajetória das emissões e PIB brasileiros, para o período 1970-2006. ....	13
Gráfico 2	Evolução das Emissões Mundiais de CO <sub>2</sub> . ....	17
Gráfico 3	Curva de Kuznets Ambiental .....	22
Gráfico 4	Participação dos setores econômicos nas emissões brasileiras (2005).....	58
Gráfico 5	Participação dos setores econômicos na produção total brasileira (2005). ....	58
Gráfico 6	Quociente de Emissão setorial por valor bruto de produção (2005). ....	59
Gráfico 7	Evolução da demanda final e emissões brasileiras, para o período 1990 a 2015....	64
Gráfico 8	Grupo 1 – Projeção de emissão (2006-2015) para os setores que poluíram acima de 30.521 Gg/ano no ano de 2005. ....	65
Gráfico 9	Grupo 2 - Projeção de emissão (2006-2015) para os setores que poluíram menos que 30.521 Gg/ano no ano de 2005. ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Ranking dos países maiores emissores mundiais de CO2.....	18
Tabela 2	Previsão de Emissões por Regiões e Países.....	19
Tabela 3	Parâmetros Calibrados.....	61
Tabela 4	Taxa de Crescimento do Produto Setorial.....	61
Tabela 5	Projeção de PIB e Emissões Globais.....	64
Tabela 6	Projeções setoriais para os períodos 2005 e 2015.....	67
Tabela 7	Resultado do modelo macroeconômico de taxa de crescimento do produto setorial. .....	70
Tabela 8	Tabela comparativa entre projeção original e projeção com cenário A1.....	71
Tabela 9	Resultado do modelo macroeconômico de taxa de crescimento do produto setorial. .....	72
Tabela 10	Tabela comparativa entre projeção original e projeção com cenário A2.....	73
Tabela 11	Tabela comparativa de taxas média de emissão.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Comparação de métodos utilizados em análises de questões ambientais.....	25
Quadro 2	Exemplificação de uma Matriz Insumo-Produto.....	50
Quadro 3	Comparando os Resultados de Projeção.....	74

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
<b>1.1 Meio Ambiente e Crescimento Econômico.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Emissão de CO2 e Efeito Estufa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Objetivos.....</b>	<b>20</b>
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	21
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Modelos Macroeconômicos .....</b>	<b>27</b>
2.2.1 Modelo de Solow .....	28
2.2.2 Modelo de Solow com tempo contínuo ou discreto.....	29
2.2.3 Modelo de crescimento endógeno .....	33
<b>2.3 Modelos de insumo-produto .....</b>	<b>37</b>
3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS .....	42
<b>3.1 Metodologia.....</b>	<b>42</b>
3.1.1 O modelo macroeconômico .....	43
3.1.2 O modelo de insumo-produto .....	49
3.1.3 A integração dos modelos.....	53
<b>3.2 Base de Dados .....</b>	<b>55</b>
3.2.1 Análise descritiva da base de dados .....	57
3.2.2 Parâmetros calibrados.....	60
4 RESULTADOS .....	63
<b>4.1 Resultados Do Modelo Sem Cenários .....</b>	<b>63</b>
4.1.1 Resultados globais .....	63
4.1.2 Resultados setoriais .....	65
4.1.3 Conclusões.....	67
<b>4.2 Análises de Sensibilidade do Modelo a Diferentes Cenários .....</b>	<b>68</b>
4.2.1 Resultados para o cenário A1 .....	69

4.2.2 Resultados para o cenário A2 .....	71
<b>4.3 Avaliando o Ajuste do Modelo aos Dados .....</b>	<b>73</b>
5 CONCLUSÕES .....	75
6 REFERÊNCIAL .....	78
7 ANEXOS .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo busca introduzir, de forma concisa, os problemas gerados pelo aumento nas emissões de dióxido de carbono, assim como, oferecer um panorama das emissões mundiais e brasileiras, contextualizar a inclusão de questões ambientais junto aos modelos de crescimento econômico e citar as políticas brasileiras no âmbito do tema.

Dessa forma o capítulo foi dividido em três seções. A primeira busca introduzir a discussão de crescimento econômico e meio ambiente. A segunda objetiva explicar o problema gerado pelo aumento nas emissões, ou efeito estufa, assim como suas conseqüências e um panorama das emissões mundiais e brasileiras. A terceira explicita os objetivos desta dissertação.

### 1.1 Meio Ambiente e Crescimento Econômico

De acordo com Hilgemberg (2004) desde o final do século XVIII, quando Malthus (1983) escreveu sobre os princípios da população, os economistas vêm se preocupando com a necessidade de que o crescimento econômico não comprometa o desenvolvimento econômico das gerações futuras.

As questões ambientais ganharam destaque no rol das preocupações sociais e econômicas, nos últimos anos. Até 1970 havia a crença de que a maioria dos problemas ambientais deriva do processo de crescimento econômico (FONSECA e RIBEIRO, 2005). Entretanto Grossman e Krueger (1991) ressaltaram que esta crença desconsiderava os avanços na tecnologia, na educação e na política advindos do próprio processo de crescimento econômico.

Em 1972 foi publicado o estudo “Limites do Crescimento”, encomendado pelo Clube de Roma<sup>1</sup> (HILGEMBERG, 2004), no qual Meadows *et al.* (1972) *apud* Bruseke *et al.* (1994) implementaram um modelo de simulação e demonstraram que há um certo limite à capacidade física dos recursos da terra. Para os autores se as tendências de crescimento da população mundial, nível de industrialização, poluição e escassez de recursos naturais

---

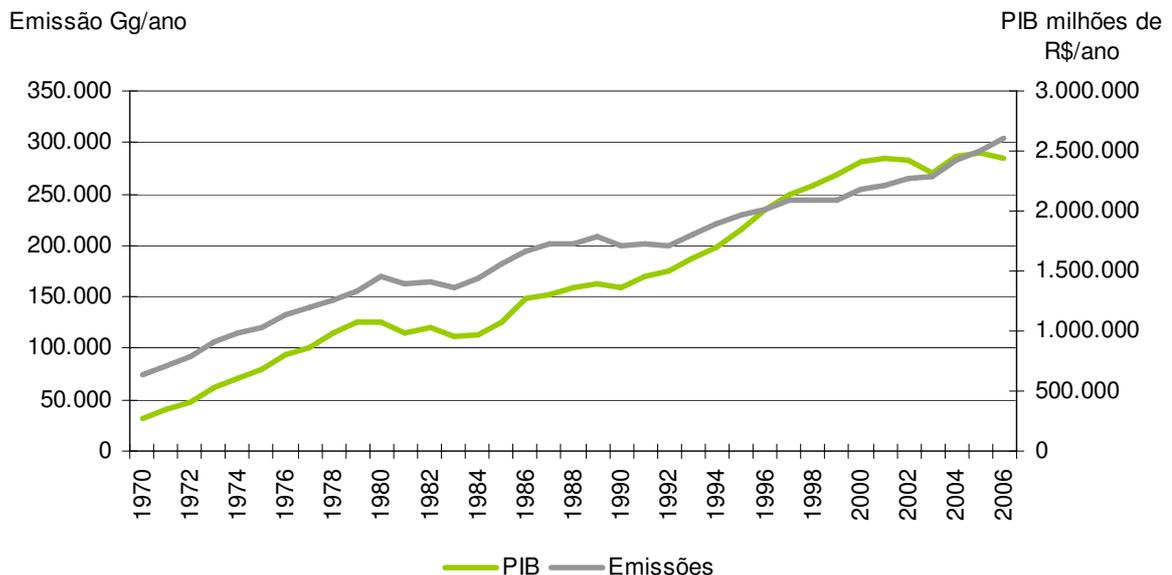
<sup>1</sup> Em 1968, o economista italiano Aurélio Peccei reuniu em Roma um grupo de cientistas, industriais, economistas, educadores e políticos para estudar os fundamentos da crise pela qual passava a civilização, este grupo ficou conhecido como Clube de Roma (CORAZZA, 2005).

continuarem imutáveis, os limites deste planeta serão alcançados dentro dos próximos anos. Para a modificação dessa tendência e formação de uma condição de estabilidade ecológica e econômica, os autores propõem taxa de crescimento econômico e populacional igual a zero.

Grossman e Krueger (1995) afirmam que o dano ao meio ambiente está ligado a escala de atividade econômica global. Para os autores, devido as fontes naturais renováveis e não renováveis de energia, por natureza poluidoras, serem insumos do processo produtivo de muitos bens e serviços, e sendo a composição do produto e os métodos de produção imutáveis, o aumento na atividade econômica global necessariamente causa um aumento nos danos ao meio ambiente.

O Gráfico 1 descreve a trajetória temporal das emissões de CO<sub>2</sub> e PIB brasileiros, durante o período de 1970-2006. A visualização gráfica evidencia a tendência de crescimento das duas séries e que aparentemente estas têm variação em sentido semelhante, porém para efetivamente concluir algo são necessários aplicação de testes empíricos.

**Gráfico 1 Trajetória das emissões e PIB brasileiros, para o período 1970-2006.**



Fonte: IBGE e Balanço de Emissões e Energia Final<sup>2</sup>

Grossman e Krueger (1991) destacam a possibilidade de uma tecnologia limpa produzir menos poluição por unidade de produto. Os autores destacam que à medida que a sociedade torna-se mais rica intensifica-se a demanda por melhor qualidade de vida e

<sup>2</sup> A variável emissão está em gigagrama por ano (Gg/ano) e o PIB em milhões de reais de 2007 (R\$ milhões). O PIB ainda foi dividido por 10 com o intuito de aproximar no gráfico as duas séries. Uma unidade em gigagrama representa 10<sup>9</sup> gramas ou 1.000 toneladas.

sustentabilidade ambiental e, neste caso, o governo pode ser chamado para impor controle mais rígido sobre o meio ambiente.

Assim, estando as emissões interligadas com a atividade econômica, um maior controle sobre seus danos (efeito estufa) pode ser feito através de melhores previsões de emissões. Logo é importante pensar nessas questões em conjunto.

## 1.2 Emissão de CO<sub>2</sub> e Efeito Estufa

Muitos compostos químicos encontrados na atmosfera atuam como "gases causadores do efeito de estufa". Estes gases permitem que a luz solar entre na atmosfera livremente, e quando a radiação solar atinge a superfície da Terra parte da radiação é re-irradiada de volta para o espaço. O problema ocorre quando os gases do efeito estufa interagem a nível molecular, e criam uma armadilha de calor na atmosfera, não permitindo a saída da radiação. A este processo dá-se o nome popular de efeito estufa. Muitos gases apresentam esta propriedade, alguns deles ocorrem na natureza, por exemplo, vapor de água, CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), metano e óxido nitroso, enquanto outros são resultados da ação exclusivamente humana, como certos gases industriais (ELETROBRÁS, 2000).

A concentração atmosférica de gases do efeito estufa deve ser relativamente estável, ou seja, a quantidade de energia enviada a partir do sol para a superfície da Terra deve ser aproximadamente a mesma quantidade de energia irradiada de volta para o espaço, deixando a temperatura da superfície da Terra praticamente constante. Porém esse equilíbrio é afetado pela ação humana, que aumenta a quantidade dos gases do efeito estufa presentes na atmosfera. Ipek Tunç *et al.* (2006) destacam que o uso acelerado de combustíveis fósseis desde a revolução industrial, e a rápida destruição das florestas são as principais causas do aumento da ocorrência do efeito estufa.

O aumento da concentração dos gases causadores do efeito estufa induz a um aumento na temperatura média da superfície da terra. Segundo o IPCC<sup>3</sup> (2007) (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) a temperatura da terra aumentou entre 0,6° e 0,9° graus Celsius no século passado. Para Eletrobrás (2000) o aumento na temperatura média do planeta foi de 0,45° a 0,6° graus Celsius. Parte deste aumento ocorreu devido à ação humana. Eletrobrás

---

<sup>3</sup> O IPCC foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial, e pelo programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, com o objetivo de avaliar a informação científica, técnica e sócio econômica disponível no campo de mudança climática. É o principal órgão mundial responsável por pesquisas a respeito do efeito estufa e mudança climática.

(2000) aponta como possíveis consequências do aumento de temperatura as mudanças no padrão de precipitação, tempestades mais severas, derretimento das calotas polares com consequências sobre o aumento no nível dos mares, desertificação de determinadas áreas, redução de produtividade agrícola, entre outros.

Um grande problema é mensurar os impactos do aumento do efeito estufa. Alguns autores projetaram as mudanças na produtividade agrícola devido às mudanças climáticas: Rosenzweig e Parry (1994), Baethgen (1997) e Adams et al. (1998), no que tange à produtividade agrícola mundial, e Siqueira *et al.* (2000) e Pellegrino *et al.* (2007) para produtividade agrícola brasileira.

Estes trabalhos indicam como possíveis conjecturas da produtividade agrícola mundial, as seguintes: a) no geral haverá efeito negativo na produção agrícola mundial, sendo que a mudança climática intensificará as disparidades de produtividade entre os países, já que a produção dos países desenvolvidos será beneficiada e a dos países em desenvolvimento prejudicada pelas mudanças climáticas (ROSENZWEIG e PARRY, 1994); b) os efeitos combinados de aquecimento, precipitação e de fertilização por CO<sub>2</sub> variam entre culturas e regiões, logo haverá ganhadores e perdedores que serão determinados de acordo com o tipo de cultura, nível de aquecimento e altitude da região. É importante salientar que quanto mais baixa uma região, maiores as perdas. Outro ponto é que regiões semi-áridas também sofrerão grandes perdas. As alterações na oferta dos bens agrícolas implicarão em modificações nos seus preços e no padrão de comércio, sendo que serão ainda mais danosos quando se leva em conta o resto da cadeia produtiva, cujos bens da agricultura são insumos (ADAMS *et al.*, 1998); c) no que tange à América Latina, o efeito de redução de produção agrícola será seguido por aumento do desvio padrão, ou seja, anos de baixa produção seguidos por anos de alta produção, fragilizando o setor. Além disso, haverá intensificação do efeito de redução na proporção de pequenos agricultores, o que poderá acarretar na migração destes para os centros metropolitanos. (BAETHGEN, 1997).

Já as conjecturas para a produção agrícola brasileira: a) não são diferentes daquelas encontradas para o restante do mundo, ou seja, ocorre um efeito negativo das mudanças climáticas sobre a área considerada apta para o plantio. Pellegrino *et al.* (2007) fazem uso de cenários do IPCC (2000), para construção de modelos de zoneamento de risco climático, que indicam para o caso da soja, um decréscimo de 1.204.911,86 Km<sup>2</sup> no cenário mais pessimista de aumento de 5,8° C na temperatura. A partir de 1990 o cenário de aumento de 1°C já está próximo de acontecer e o cenário de 3°C é praticamente certo. As estimativas para este último cenário mostram perdas de área em torno de 18% para o arroz, 11% para o feijão, 39% para a

soja, 58% para o café e 7% para o milho; b) Siqueira *et al.* (2000) sinalizam aumentos na temperatura da ordem de 2° C para o ano de 2010, com máximas projetadas para as regiões Centro-Sul, que alcançará 6° C em torno de 2050-2060. No que se refere à precipitação pluviométrica é possível detectar uma tendência de elevação do volume no outono, com declínios no inverno e início de primavera, podendo representar agravamento de disponibilidade de água nas regiões Centro-Sul, Central e Nordeste. Com relação a produção agrícola, a maior variação será na produção de trigo, com queda de 31%, seguido pela de milho 16%. Já a produção de soja terá aumento de 27%.

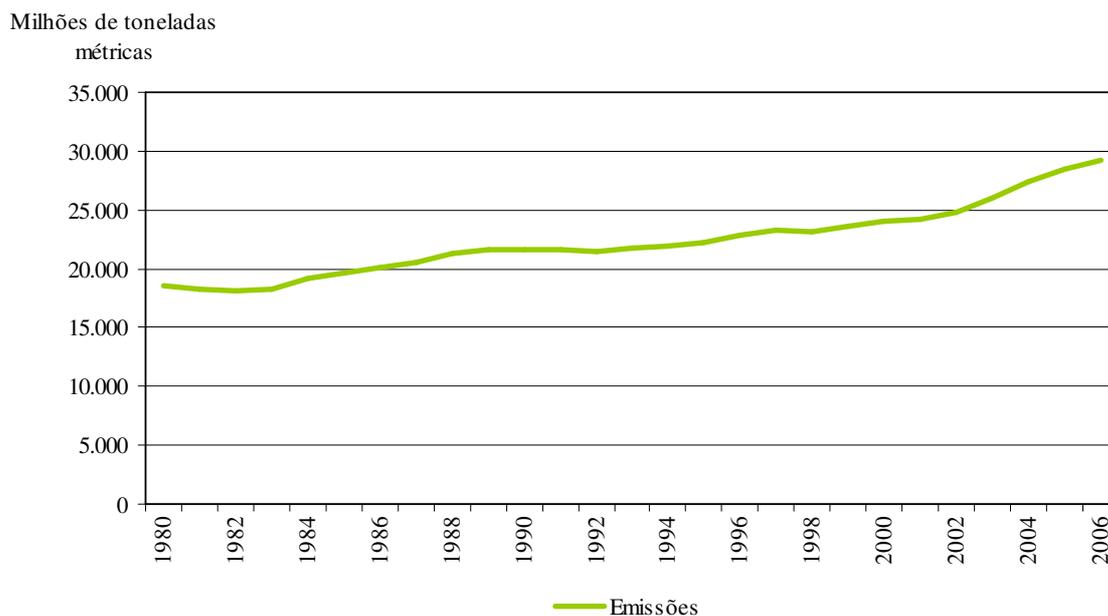
A respeito da divergência entre Pellegrino *et al.* (2007) e Siqueira *et al.* (2000), para a cultura de soja, é possível inferir que em Siqueira *et al.* (2000) foram constatados aumentos potenciais na produção da soja entre 30%, 32%, 9% e 38%, respectivamente para as regiões Sul, Centro-Sul, Nordeste e Norte, situando-se em média ao redor de 27%. Estes resultados revelam a possibilidade de que os efeitos benéficos, dos aumentos da concentração de CO<sub>2</sub>, como fertilização por CO<sub>2</sub>, tenha compensado os efeitos negativos decorrentes do aumento de temperatura.

Logo, a partir das projeções é possível traçar um cenário pessimista para a produção agrícola brasileira e mundial. Importante também é ressaltar alguns impactos indiretos na cadeia produtiva citados por estes mesmos autores como: aumento do êxodo rural, aumento no nível geral de preços, escassez de alimentos, deterioração de economias baseadas no setor primário e como este é fornecedor de insumos, os demais setores (secundário e terciário) também serão afetados.

Segundo Carvalho (2008) dentre os gases do efeito estufa o CO<sub>2</sub> é o mais importante. Halmann e Steinberg (1999) e Ipek Tunç *et al.* (2006) indicam que as emissões de CO<sub>2</sub> são responsáveis por 63,6% e 60%, respectivamente, do aumento de incidência do efeito estufa, logo verifica-se a importância de aprofundar os estudos das emissões deste gás.

O Gráfico 2 apresenta a evolução das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> em milhões de toneladas métricas, para o período de 1980 a 2006. É possível inferir que, no geral, a tendência é de crescimento nas emissões a uma taxa média de 1,78% sendo que somente ocorreu decréscimo nas emissões nos seguintes períodos, 1981, 1982, 1991, 1992 e 1998.

**Gráfico 2 Evolução das Emissões Mundiais de CO2.**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir das Estatísticas da EIA<sup>4</sup> (2009).

Na Tabela 1 é apresentado o *ranking* dos 30 países maiores emissores, com base no ano de 2005. É importante notar a alta concentração das emissões, sendo que os 30 maiores emissores são responsáveis por, respectivamente, 66,69%, 86,41% e 86,76% das emissões mundiais, para os anos de 1990, 1995 e 2005. Além disso verifica-se o aumento na participação dos países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil, sendo que destes o Brasil apresenta menor participação nas emissões. O Brasil é o 18º maior emissor mundial, sendo que não foram consideradas as emissões derivadas de degradação ambiental, dentre elas principalmente a queima de florestas, fato este que se considerado poderia elevar a colocação do Brasil no *ranking* (REIS e MARGULIS, 1991).

Com relação a projeções oficiais de emissão disponíveis é possível citar: as projeções do IPCC e as do EIA (2009). De acordo com o cenário otimista do IPCC, a população mundial deve alcançar 6,4 bilhões em 2010, o PIB mundial deve crescer 2% ao ano até 2025, e as emissões passarão de 7,4 gigatoneladas para 8,8 Gt/ano em 2025 e 4,6 Gt/ano em 2100. O cenário pessimista, por sua vez, prevê população de 13,1 bilhões em 2010, crescimento econômico de 3% ao ano até 2100, emissões de 15,1 Gt/ano em 2025 e 35,8 Gt/ano para 2100 (ELETROBRÁS, 2000).

<sup>4</sup> A EIA (*Energy Information Administration*) é um órgão, pertencente ao governo dos Estados Unidos, responsável por compilar as estatísticas relacionadas ao consumo de energia, tanto dos EUA, quanto mundial.

**Tabela 1 Ranking dos países maiores emissores mundiais de CO<sub>2</sub>.**

Ranking (2005)	País	1990	% no total	1995	% no total	2005	% no total
1	Estados Unidos	5.028,46	23,19	5.323,97	23,89	5.994,29	21,04
2	China	2.293,39	10,58	2.903,39	13,03	5.429,30	19,06
3	Rússia	-	-	1.638,39	7,35	1.698,56	5,96
4	Japão	1.053,77	4,86	1.119,59	5,02	1.249,62	4,39
5	Índia	583,25	2,69	878,43	3,94	1.194,01	4,19
6	Alemanha	-	-	885,68	3,97	852,57	2,99
7	Canadá	474,83	2,19	510,81	2,29	632,01	2,22
8	Reino Unido	604,97	2,79	562,46	2,52	584,65	2,05
9	Coréia do Sul	243,37	1,12	382,83	1,72	496,64	1,74
10	Itália	416,07	1,92	432,07	1,94	472,78	1,66
11	Irã	202,15	0,93	262,26	1,18	445,77	1,56
12	África do Sul	301,04	1,39	351,45	1,58	437,76	1,54
13	Austrália	269,86	1,24	290,96	1,31	416,89	1,46
14	França	368,57	1,70	373,23	1,67	414,36	1,45
15	México	302,35	1,39	321,57	1,44	406,53	1,43
16	Arábia Saudita	208,02	0,96	235,29	1,06	405,54	1,42
17	Espanha	236,84	1,09	251,17	1,13	384,04	1,35
<b>18</b>	<b>Brasil</b>	<b>237,70</b>	<b>1,10</b>	<b>289,53</b>	<b>1,30</b>	<b>370,55</b>	<b>1,30</b>
19	Ucrânia	-	-	423,98	1,90	349,85	1,23
20	Indonésia	151,40	0,70	215,20	0,97	323,51	1,14
21	Taiwan	118,77	0,55	183,38	0,82	290,41	1,02
22	Polônia	336,40	1,55	310,65	1,39	289,80	1,02
23	Holanda	212,07	0,98	223,68	1,00	272,69	0,96
24	Tailândia	83,86	0,39	145,11	0,65	242,68	0,85
25	Turquia	129,45	0,60	153,29	0,69	231,23	0,81
26	Cazaquistão	-	-	140,11	0,63	203,30	0,71
27	Êgito	92,68	0,43	99,28	0,45	161,22	0,57
28	Malásia	65,04	0,30	89,58	0,40	160,24	0,56
29	Argentina	102,69	0,47	119,84	0,54	151,93	0,53
30	Bélgica	125,76	0,58	139,28	0,63	151,11	0,53
1 a 30	<b>Total</b>	<b>14.242,77</b>	<b>65,69</b>	<b>19.256,47</b>	<b>86,41</b>	<b>24.713,86</b>	<b>86,76</b>
	<b>Total de Emissões Mundiais</b>	<b>21.683,16</b>		<b>22.284,01</b>		<b>28.485,00</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das Estatísticas da EIA (2009).

No que diz respeito a projeção da EIA (2009), mostradas na Tabela 2, é possível reafirmar o aumento das emissões dos países em desenvolvimento a uma taxa maior do que a média mundial. Fato este evidenciado comparando a taxa média de crescimento das emissões dos países da OECD (0,5%), com a dos demais países (2,5%).

A média de crescimento das emissões totais brasileiras é de 2,3%, valor mais próximo ao de países como México (2,1%), Índia (2,5%) e China (3,3%) do que Estados Unidos (0,5%), Japão (-0,2%) e Coréia do Sul (1,3%) e as emissões brasileiras em 2030 serão mais que o dobro daquela registrada em 1990.

É importante ressaltar que o Protocolo de Kyoto, ratificado pelo Brasil, determina para um determinado grupo de países incluídos no anexo I do protocolo<sup>5</sup>, uma redução nas

<sup>5</sup> Na Conferência de Kyoto os países foram divididos em dois grupos de países. Países membros do anexo I (Membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE – e países da Europa com economia em transição incluindo Rússia) e países fora do anexo 1. Aqueles países membros do anexo 1 deveriam reduzir suas emissões em pelo menos 5% abaixo do nível de 1990, durante o período de 2008 a 2012, sendo que para a União Européia a redução é de 8%, para EUA 7% e Japão 6%. Para os países fora do anexo 1 não foram estipuladas metas (TOURINHO *et al.*, 2003). A tabela com os países pertencentes ao anexo 1 do protocolo encontra-se no anexo 7.1 deste trabalho.

emissões no período de 2008 a 2012, para que em média as emissões mundiais sejam 5,2% inferiores aos níveis de emissão observados em 1990. Apesar do Brasil não estar incluso no anexo I<sup>6</sup> torna-se fundamental incentivar os países em desenvolvimento a reduzirem suas emissões, de forma a contribuir para a redução mundial de emissões (TOURINHO *et al.*,2003).

**Tabela 2 Previsão de Emissões por Regiões e Países<sup>7</sup>**

Região/País	Valores Históricos			Projeções					Variação anual média (%)
	1990	2004	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
<b>OECD</b>									
OECD América do Norte	5.754	6.959	7.008	7.109	7.408	7.653	7.928	8.300	0,7
Estados Unidos	4.989	5.957	5.982	6.011	6.226	6.384	6.571	6.851	0,5
Canadá	465	623	628	669	698	727	756	784	0,9
México	300	379	398	430	484	542	601	665	2,1
OECD Europa	4.101	4.373	4.383	4.512	4.678	4.760	4.800	4.834	0,4
OECD Ásia	1.541	2.148	2.174	2.208	2.287	2.322	2.357	2.403	0,4
Japão	1.009	1.242	1.230	1.196	1.201	1.195	1.184	1.170	-0,2
Coreia do Sul	241	488	500	559	612	632	656	693	1,3
Austrália/Nova Zelândia	291	418	444	454	474	495	517	540	0,8
<b>Total OECD</b>	<b>11.396</b>	<b>13.480</b>	<b>13.565</b>	<b>13.829</b>	<b>14.373</b>	<b>14.736</b>	<b>15.085</b>	<b>15.538</b>	<b>0,5</b>
<b>Não-OECD</b>									
Não-OECD Europa e Eurasia	4.198	2.797	2.865	3.066	3.330	3.508	3.625	3.811	1,1
Rússia	2.376	1.669	1.696	1.789	1.902	1.984	2.020	2.117	0,9
Outros	1.822	1.128	1.169	1.278	1.428	1.524	1.606	1.694	1,5
Não-OECD Ásia	3.613	7.517	8.177	10.185	12.157	13.907	15.683	17.482	3,1
China	2.241	4.753	5.323	6.898	8.214	9.475	10.747	12.007	3,3
Índia	565	1.127	1.164	1.349	1.604	1.818	2.019	2.238	2,6
Outros Não-OECD Ásia	807	1.637	1.690	1.938	2.338	2.614	2.917	3.237	2,6
Meio Leste	700	1.290	1.400	1.622	1.802	1.988	2.120	2.250	1,9
África	649	943	966	1.090	1.244	1.366	1.450	1.515	1,8
América Central e Sul	669	1.042	1.078	1.308	1.429	1.531	1.628	1.729	1,9
<b>Brasil</b>	<b>216</b>	<b>350</b>	<b>356</b>	<b>451</b>	<b>498</b>	<b>541</b>	<b>582</b>	<b>633</b>	<b>2,3</b>
Outros da América Central e Sul	453	692	722	857	931	990	1.046	1.097	1,7
<b>Total Não-OECD</b>	<b>9.830</b>	<b>13.589</b>	<b>14.486</b>	<b>17.271</b>	<b>19.962</b>	<b>22.299</b>	<b>24.506</b>	<b>26.787</b>	<b>2,5</b>
<b>Total</b>	<b>21.226</b>	<b>27.070</b>	<b>28.051</b>	<b>31.100</b>	<b>34.335</b>	<b>37.035</b>	<b>39.591</b>	<b>42.325</b>	<b>1,7</b>

Fonte: Estatísticas da EIA (2009).

Obs: Valores em milhões de toneladas métricas.

O Brasil por meio do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima<sup>8</sup>, determinou algumas metas dentro do Plano Nacional sobre Mudança do Clima (2008). O objetivo geral

<sup>6</sup> O Brasil tem uma série de outros compromissos estabelecidos, tais como elaborar inventários nacionais de emissões antrópicas de gases de efeito estufa, formular programas nacionais de mitigação e adaptação à mudança do clima, promover cooperação tecnológica, científica e educacional em matéria de mudança do clima, promover o manejo sustentável de sumidouros e reservatórios de carbono, e comunicar à Conferência das Partes informações relativas à implementação da Convenção (Plano Nacional sobre Mudança Climática, 2008).

<sup>7</sup> As previsões de emissões mundiais feitas pela EIA (2009) são geradas pelo modelo WEPS+ (*World Energy Projections Plus Model*). O modelo WEPS+ produz projeções de consumo de energia para o período de 2006 a 2030 para 16 regiões ou países. Posteriormente, foram convertidas as previsões de consumo de energia em emissões.

do Plano Nacional é identificar, planejar e coordenar as ações e medidas para mitigação de emissões. Importante ressaltar que as metas estabelecidas estão muito mais próximas de planos, do que de compromisso assumido.

### 1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é projetar as emissões industriais brasileiras de dióxido de carbono para o período de 2006 a 2015. São consideradas emissões industriais de CO<sub>2</sub> as emissões resultantes do consumo de energia para a produção de 13 setores brasileiros. Nesta dissertação as emissões domiciliares e naturais não foram tratadas, Como objetivos específicos este trabalho propõem: a) fazer projeções para o produto setorial, como insumo para projetar as emissões; b) projetar a emissão de CO<sub>2</sub> do conjunto dos setores; c) projetar as emissões setoriais brasileiras de CO<sub>2</sub>; e d) avaliar o impacto nas projeções de utilização de diferentes cenários para taxa de crescimento da população e taxa de uso de renováveis e não renováveis.

---

<sup>8</sup> Em novembro de 2007 foi promulgada por decreto a criação do Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima com a função de elaborar a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo objetiva apresentar os métodos utilizados na literatura para questões que relacionam o meio ambiente e crescimento econômico. Foi feito um aprofundamento somente daqueles estudos que trabalham com os métodos efetivamente utilizados nesta dissertação. Dessa forma o capítulo foi dividido em três seções. A primeira seção é introdutória e busca mostrar e estabelecer comparações entre alguns métodos utilizados na literatura de meio ambiente e crescimento econômico. As segunda e terceira seções aprofundam os estudos dos modelos macroeconômicos e de insumo-produto, respectivamente.

### 2.1 Introdução

As questões ambientais têm sido tratadas na literatura por meio da utilização de diversos métodos: modelos econométrico, modelos de crescimento macroeconômicos, modelos de equilíbrio geral aplicado e modelos de insumo-produto (Quadro 1). A escolha do método depende do problema a ser tratado e da disponibilidade de dados. Além disso é importante ter conhecimento a respeito dos tipos de respostas que cada um deles pode prover, os dados necessários assim como as vantagens e desvantagens.

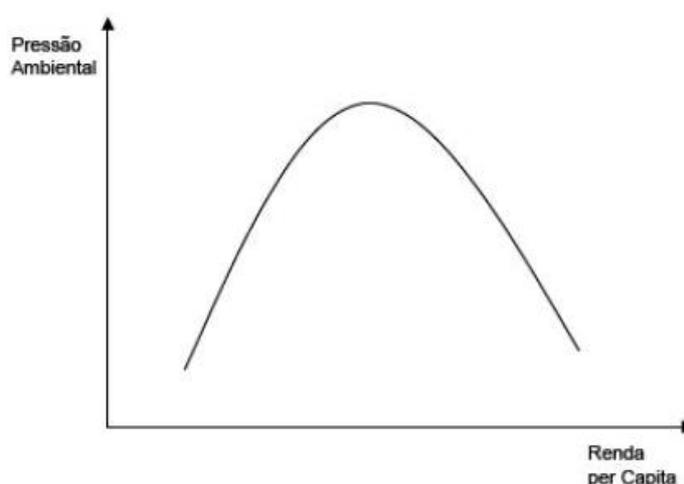
Os modelos econométricos são mais utilizados para prever emissões globais e ou testar a hipótese da curva de Kuznets ambiental. A curva de Kuznets foi descrita primeiramente por Kuznets (1955) e estabelece um relacionamento no formato de “U” invertido entre desigualdade de renda e o crescimento econômico. Na década de 1990 essa relação foi aplicada a questões ambientais, ou seja, entre nível de atividade econômica e índice de degradação ambiental (Gráfico 3).

Nos trabalhos econométricos estima-se uma equação, como aquela exemplificada em (1).

$$Y = G\beta_1 + G^2\beta_2 + X_{it}\beta_3 + \varepsilon \quad (1)$$

Onde  $Y$  é um índice de degradação ambiental,  $G$  é um índice de atividade econômica,  $G^2$  é o quadrado do mesmo índice,  $X$  é um vetor de outras variáveis explicativas e  $\varepsilon$  é um termo de erro. Os  $\beta$ 's são parâmetros a serem estimados. Para ser confirmada a hipótese da curva de Kuznets é necessário que o parâmetro  $\beta_2$  seja negativo indicando um ponto de máximo.

**Gráfico 3 Curva de Kuznets Ambiental**



Fonte: Grossman e Krueger (1995).

As vantagens de utilização do método econométrico, de acordo com Costa (2009), são: grande número de métodos de regressão disponíveis, possibilidade de identificação de relações causais, releva a heterogeneidade individual, e a disposição dos resultados que podem ser tanto globais quanto regionais. As desvantagens são: falta de detalhamento setorial, falta de micro-fundamentos e enviesamento por heterogeneidade dos indivíduos.

Uma crítica à utilização dos modelos econométricos para teste da curva de Kuznets, foi levantada por Arrow *et al.* (1995), que destacou que na maioria dos casos em que as emissões diminuíram com o crescimento econômico, as reduções foram devido a reformas institucionais locais, como a legislação ambiental e os incentivos baseados no mercado para reduzir os impactos ambientais, e não causadas pelo crescimento econômico em si.

Os modelos macroeconômicos de crescimento provêm resultados que permitem fazer previsões globais de emissão e análise de políticas, dentro de uma estrutura que analisa o comportamento da firma, família, governo, e setor externo.

De acordo com Costa (2009) as principais vantagens na utilização deste tipo de modelo são: fundamentado pela teoria econômica<sup>9</sup>, acompanha as principais restrições a que o país está sujeito em diferentes períodos e resultados globais. As desvantagens são: utilização de uma função produção muito agregada limitando a descrição de especificidades de cada setor econômico e não incorpora os efeitos multiplicadores da economia. São necessários mais dados que um modelo econométrico, contudo dados ainda globais.

Os modelos de equilíbrio geral aplicado permitem fazer análises de políticas, sensibilidade e elasticidades. Os modelos de equilíbrio geral computável podem incorporar muitas questões chave nos indicadores de sustentabilidade em uma única estrutura micro-consistente, permitindo uma análise quantitativa e sistemática entre qualidade ambiental, performance econômica e distribuição de renda (BOHRINGER e LOSCHEL, 2006).

Costa (2009) aponta como vantagens na utilização deste método: fundamentação na teoria econômica, descreve interações de toda a economia, os resultados podem ser tanto globais, quanto setoriais e regionais e ainda é possível fazer análises de impactos na produção, emprego, consumo, investimento, comércio, preços e salários. Porém essa vantagem tem um custo, os modelos de equilíbrio geral computável necessitam de ampla quantidade de dados com altos níveis de desagregação para calibragem, e não podem refletir desequilíbrios (como desemprego ou subutilização da capacidade produtiva) ou dinâmica transacional.

Os modelos de insumo-produto permitem análises setoriais de políticas, impactos de demanda e previsão. Os modelos tratam uma economia em equilíbrio em determinado momento no tempo e são dirigidos pela demanda.

As principais vantagens deste método são: considera as inter-relações entre produção de bens e serviços pelos setores, permite análise dos efeitos multiplicadores da economia, e no que tange aos resultados podem ser setoriais, globais ou regionais. As desvantagens são: coeficientes de requerimento de insumos para produção fixos, não é possível incorporar mudanças tecnológicas, nem substituição entre fatores de produção e utilização **de choques de demanda arbitrários**<sup>10</sup> (COSTA, 2009).

Há ainda os modelos de insumo-produto integrado a modelos econométricos ou modelos macroeconômicos. Entretanto, não foram identificadas aplicações que utilizam estes dois modelos para o tratamento de questões ambientais.

---

<sup>9</sup> A fundamentação na teoria econômica indica que o consumidor se comporta maximizando utilidade sujeito a restrição orçamentária e as firmas maximizam lucro.

<sup>10</sup> Grifo do Autor.

Ao integrar modelos de insumo-produto a outros métodos o objetivo é flexibilizar alguns pressupostos do modelo, o principal deles é o choque de demanda arbitrário. No modelo econométrico integrado a insumo-produto os choques nos componentes da demanda final são feitos com base nos resultados de um modelo econométrico. De acordo com Costa (2009) a principal vantagem desse método é a incorporação das estimações econométricas evitando os choques de demanda arbitrários. A desagregação dos resultados pode ser global, setorial ou regional. As desvantagens são que: os coeficientes de requerimentos de insumo continuam fixos, não é possível incorporar mudanças tecnológicas, nem substituição entre fatores de produção.

Já no modelo macroeconômico integrado a insumo-produto, proposto por Arbex e Perobelli (2009), utiliza-se o resultado de um modelo macroeconômico de trajetória para o produto, como estrutura de choque no modelo de insumo produto. As principais vantagens são: adoção de um choque macro-fundamentado e consistente ao invés de choques arbitrários e abertura para possibilidade de substituição entre fatores de produção. As desvantagens são: coeficientes de requerimento de insumos fixos e necessidade de maior quantidade de dados desagregados setorialmente para calibrar o modelo macroeconômico.

O quadro 1 sintetiza os modelos de forma a ressaltar as diferenças entre os métodos e os trabalhos aplicados relacionados ao meio ambiente. A estrutura do quadro é dividida em 6 tipos de métodos. Os modelos macroeconômicos e de insumo-produto serão apresentados nesta revisão, entretanto os demais métodos não serão por não serem utilizados nesta dissertação. As colunas foram construídas destacando as diferenças entre os métodos, principalmente no que se refere a: forma do equilíbrio, estrutura do choque, vantagens e desvantagens, além dos trabalhos empíricos aplicados a problemas ambientais.

O restante deste capítulo foi dividido em duas seções. A primeira apresenta os modelos macroeconômicos de crescimento aplicados ao tema meio ambiente. Esta subseção influenciará na montagem do modelo macroeconômico, na medida em que, fornece base para a escolha da forma funcional e dos fatores, presentes na função de produção.

Aplicação de modelos de insumo-produto às emissões de CO<sub>2</sub> é tema da segunda seção, a qual fornecerá informações a respeito do tratamento das emissões setoriais e direcionará a montagem do modelo de insumo-produto.

**Quadro 1 Comparação de métodos utilizados em análises de questões ambientais.**

<b>Técnica de Análise</b>	<b>Forma do equilíbrio</b>	<b>Estrutura do choque</b>	<b>Trabalhos Aplicados a problemas Ambientais</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Econométrico</b>	Parcial	Choque em variáveis exógenas.	Grossman e Krueger (1991,1995), Holtz-Eakin e Selden (1995), De Bruyn <i>et al.</i> (1998), Condo e Dinda (2002), Fonseca e Ribeiro (2005), Lucena (2005), Gomes e Braga (2008), Carvalho (2008), Santos <i>et al.</i> (2008), Halicioglu (2009)	Grande número de métodos de regressão; Ligações causais podem ser identificadas e relacionadas; Releva a heterogeneidade individual; Resultados globais ou regionais.	Perda de detalhamento; Resultado sensível ao método; Enviesamento de heterogeneidade dos indivíduos e por seleção; Falta de micro-fundamentos.
<b>Macroeconômico</b>	Geral	Determina um padrão ótimo de comportamento econômico.	Solow (1974), Repetto <i>et al.</i> (1989), Nordhaus (1992), López (1993), Huang e Cai (1994), Verdier (1995), Bovenberg e Smulders (1995), Manne <i>et al.</i> (1995), Nordhaus e Yang (1996), Elbasha e Roe (1996), Bovenberg e Mooij (1997), Byrne (1997), Vincent e Rosali (1997), Howarth (1998), Barbier (1999), Ansaltegi e Escapa (2002), Padilla (2002) e Dasgupta (2009).	Baseia-se na teoria econômica e acompanha as principais restrições a que o país está sujeito em diferentes períodos; Resultados Globais.	O uso de uma função de produção agregada limita a descrição da tecnologia, não incorpora os efeitos multiplicadores da economia.
<b>Equilíbrio Geral Computável</b>	Geral	Choque em variáveis exógenas.	Johansen (1973), Hudson e Jorgenson (1976), Hazilla e Kopp (1990), Whalley e Wigle (1990), Bergman (1990), Jorgenson e Wilconxen (1990, 1992), Burniaux (1991), Conrad e Schroder (1991), Afsen (1991), Jorgenson <i>et al.</i> (1992), Wajzman (1995), Boyd <i>et al.</i> (1995), Beghin <i>et al.</i> (1996), Capros <i>et al.</i> (1998), Burniaux e Martins (2000), Xie e Saltzman (2000), Garbaccio <i>et al.</i> (2000), William (2000), Tourinho <i>et al.</i> (2003), Bohringer <i>et al.</i> (2003), Guilhoto et al. (2004) e Feijó e Azevedo (2006).	Baseado na teoria econômica, descreve as interações de toda a economia incluindo os impactos no setor, produção total, emprego, consumo, investimento, comércio, preços e salários; Resultados globais, regionais e setoriais.	Necessidade de uma ampla quantidade de dados com altos níveis de desagregação; Calcula soluções ótimas por maximização e minimização, porém às vezes as soluções requeridas são sub-ótimas.

<b>Insumo-Produto</b>	Geral	<i>Ad-hoc</i> (Cenários)	Leontief (1970), Leontief e Ford (1972), Hawdon e Pearson (1995), Lenzen <i>et al.</i> (2004), Hoekstra e Jansenn (2006), Hilgemberg e Guilhoto (2006), Morais <i>et al.</i> (2006), Cruz e Barata (2007), Wiedmann (2007), Bhuto e Cagathai (2008) e Carvalho e Perobelli (2008).	Evidência as inter- relações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia com o meio ambiente; Resultados globais, regionais e setoriais.	Coefficientes técnicos são fixos não é possível incorporar mudanças tecnológicas, nem substituição entre fatores de produção.
<b>Insumo-Produto Integrado Econométrico</b>	Geral/ Parcial	Choque baseado em resultados econométricos		Incorporação de estimações econométricas para componentes da demanda final, eliminando a utilização de choques de demanda arbitrários; Resultados globais, regionais e setoriais.	Coefficientes técnicos são fixos não é possível incorporar mudanças tecnológicas, nem substituição entre fatores de produção.
<b>Insumo-Produto Integrado Macroeconômico</b>	Geral	Choque baseado em resultados de modelos macro-fundamentados		Incorpora um modelo de crescimento macro-fundamentado que determina um padrão ótimo de variação do produto da economia, eliminando assim a utilização de choques arbitrários; Permite haver substituição entre fatores de produção primários; Resultados globais, regionais e setoriais.	Para os fatores de produção intermediários, ou insumos, continua não havendo substituição; Necessidade de quantidade expressiva de dados desagregados setorialmente para calibragem do modelo

Fonte: Adaptação feita pelo autor com base no trabalho de Costa (2009).

## 2.2 Modelos Macroeconômicos

A incorporação de questões relacionadas ao meio ambiente em modelos macroeconômicos de crescimento econômico foi discutida em Daly (1997), Solow (1997) e Stiglitz (1997). Daly (1997) faz uma crítica ao modelo de Solow (1956), referindo-se a não facilidade de troca entre os fatores de produção, capital e recursos naturais. De acordo com o autor os fatores de produção recurso natural e capital são bens complementares e não substitutos. Assim é possível utilizar uma função produção neoclássica desde que sejam incorporados recursos naturais, entretanto os resíduos do processo produtivo e sua representação matemática não podem estar na forma multiplicativa indicando bens substitutos.

Solow (1997) e Stiglitz (1997) objetivam revalidar o modelo de Solow (1956) respondendo às colocações de Daly (1997). Para Solow (1997) a substituição entre os fatores recurso natural e capital se torna possível quando, por exemplo, um novo maquinário reduz a quantidade de resíduos resultante do processo produtivo, ou permite o uso de novos materiais nunca antes utilizados.

Para Stiglitz (1997) a degradação ambiental e o desperdício de recursos naturais são motivos de preocupação e parte da crítica aos modelos neoclássicos decorre de uma falta de compreensão dos tipos de modelos analíticos formulados, os quais ajudam a responder questões de longo prazo, com referência a um período de 50-60 anos, e não de tempo infinito. No longo prazo capital pode substituir recursos naturais à medida que máquinas mais eficientes podem reduzir o desperdício e a utilização de recursos que são relativamente escassos.

Outro fator levantado pelo autor diz respeito à eficiência dos mercados. No caso destes funcionarem bem, a escassez de recursos naturais será refletida em maior economia dos mesmos, para o caso contrário é imperativo que medidas sejam tomadas para a correção das falhas do mercado.

Os modelos de crescimento macroeconômico aplicado a questões ambientais serão divididos em três tipos de modelos. O modelo de Solow tradicional, modelos que incorporam explicitamente horizontes de tempo, podendo este ser contínuo ou discreto, e os modelos de crescimento endógeno.

### 2.2.1 Modelo de Solow

Solow (1974) destaca a importância de incorporar recursos naturais na função de produção. De acordo com o autor, a equação de função de produção possuiria capital (K), trabalho (L) e uma taxa de fluxo de recurso natural extraído de uma pré-existente reserva (R).

$$Y = F(K, L, R) \quad (2)$$

Para o autor alguns pressupostos são impostos sobre R: o recurso natural necessariamente entra de qualquer forma na produção, pois não é possível produzir sem ele; a produtividade média dos recursos naturais é fixa, logo somente uma quantidade fixa de produto pode ser produzida utilizando uma reserva finita de recursos naturais; o nível de consumo agregado no tempo infinito é zero.

Dasgupta (2009) diz ser imprescindível incluir os recursos naturais nos modelos macroeconômicos. O autor descreve que tipicamente é assumido nos modelos de crescimento que os recursos naturais são fatores de produção fixos e indestrutíveis. O problema é que este pressuposto está errado, pois os recursos naturais consistem de recursos degradáveis e finitos.

Repetto *et al.* (1989) e Vincent e Rosali (1997) estimaram a influência de fatores naturais, mais especificamente do declínio da cobertura florestal, no crescimento econômico da Indonésia e da Malásia, respectivamente. Os resultados indicam que quando é incluído a degradação dos recursos naturais, as taxas de poupança líquida são de 20-30% inferiores às taxas registradas nos modelos que não incluem este tipo de fator. Solorzano *et al.* (1991) constataram que a depreciação dos recursos naturais, como florestas, solos, agricultura e pesca, na Costa Rica representou cerca de 10% do PIB e mais de um terço da acumulação de capital.

De acordo com López (1994) o crescimento econômico somente levará a redução na degradação das fontes naturais, se e somente se, os produtores internalizarem o efeito dos seus estoques na produção. O autor ressalta que se a degradação ambiental é crescente, então seria necessária a queda na atividade econômica ou mudanças tecnológicas. Os estoques de fatores naturais têm importante influência na determinação do produto. A economia poderia expandir no curto prazo, pela exploração mais intensa destes recursos, mas uma redução gradual no estoque pode eventualmente levar a uma queda na produtividade das indústrias.

Para incorporar os fatores naturais López (1994) expande a função de produção tradicional, que contém capital, trabalho e tecnologia, de forma a incorporar um fator relativo à utilização de recurso natural. A nova função de produção está representada pela equação (3),

$$Y_i = G_i(f_i(K_i, L_i, \tau_i), X_i, \delta_i) \quad (3)$$

onde,  $Y_i$  é o produto da indústria  $i$ ,  $K_i$  e  $L_i$  são capital e trabalho da indústria  $i$ ,  $\tau_i$  uma taxa de avanço tecnológico, e  $X_i$  e  $\delta_i$  são, respectivamente, utilização de recurso natural e tecnologia.  $G_i$  é crescente e quase côncava em  $f_i$  e  $X_i$ . Mudanças técnicas podem gerar mudanças em  $\delta_i$  que poderiam afetar a taxa marginal de substituição entre os fatores convencionais de  $f_i$  e o nível de utilização de fatores naturais  $X_i$ , e ainda,  $G_i$  é caracterizada por retornos constantes a escala em  $K_i$ ,  $L_i$  e  $X_i$ . Dessa forma o autor incorporou fatores naturais, por muitas vezes fatores cujo estoque é finito, na função produção tradicional.

### 2.2.2 Modelo de Solow com tempo contínuo ou discreto

Dentro dos modelos, que incorporam tempo explicitamente, Howarth (1998) cita Nordhaus (1992) como o mais conhecido estudo que trata de modelos de crescimento econômico e emissão de gases causadores do efeito estufa.

Nordhaus (1992) desenvolve um modelo dinâmico integrando Clima-Economia, também conhecido como *DICE* (*Dynamic Integrated Climate-Economy Model*), com o objetivo de criar uma ferramenta, utilizando otimização dinâmica, para calcular os impactos econômicos de redução do aquecimento global. A importância deste trabalho decorre de que o mesmo foi base para Howarth (1998), Ansuategi e Escapa (2002), Nordhaus e Yang (1996) e Manne *et al.* (1995).

O modelo *DICE* incorpora as dinâmicas de impactos ambientais no produto, impacto do produto na degradação ambiental e dos custos de políticas de redução de emissões. A abordagem básica é a utilização do modelo de crescimento econômico de Ramsey (1928)<sup>11</sup> para calcular o padrão ótimo de acumulação de capital e de redução nas emissões de gases

---

<sup>11</sup> O modelo desenvolvido por Ramsey (1928), posteriormente teve avanços em Koopmans *et al.* (1965), e determina uma maneira de ver as decisões envolvendo horizontes de tempo. No modelo a sociedade investe em bens de capital tangível e assim abstêm do consumo hoje, para consumir no futuro (NORDHAUS, 1992).

causadores do efeito estufa. Trata-se de um modelo com tempo infinito, onde o estoque de capital é derivado da interação das decisões das famílias e firmas. A trajetória resultante pode ser interpretada como o padrão mais eficiente para redução das mudanças climáticas, dado o equilíbrio competitivo entre economias de mercado onde as externalidades são internalizadas usando preços sociais apropriados para os gases causadores do efeito estufa.

O consumidor maximiza uma função utilidade intertemporal e as firmas se comportam competitivamente. A taxa de desconto mostra a disposição dos indivíduos em trocar consumo presente por consumo futuro. O produto desta economia é determinado por uma função de produção do tipo Cobb-Douglas com tecnologia, capital, trabalho, e retornos constantes a capital e trabalho.

As equações de restrição incorporam o relacionamento entre atividade econômica, emissões, concentrações e mudança climática, estabelecendo ligações entre as mudanças climáticas e o resto da economia. Para calibragem do modelo foram utilizados trabalhos anteriores<sup>12</sup>. O estudo integrou os benefícios e custos do controle de gases, em um modelo que liga a economia às mudanças climáticas.

Em termos de resultados Nordhaus (1992) estimou que ao dobrar as emissões dos gases, haverá um impacto de aumento na temperatura média global de 3°C e conseqüentemente uma queda no produto mundial de 1,3%. O custo de redução de emissão será de US\$ 120,00 por tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> para uma redução de 50% nas emissões, considerando como base as emissões de 1989. O custo total global desta redução será de US\$ 200 bilhões no nível de atividade de 1989.

Manne *et al.* (1995) desenvolvem uma estrutura chamada de MERGE (*Model for Evaluating Regional and Global Effects of Greenhouse Gás Emission Reduction Policies*). O MERGE consiste de uma série de modelos que determinam impactos climáticos e econômicos resultantes das emissões de gases do efeito estufa, como: custo de redução das emissões de alguns dos gases do efeito estufa, sistema natural de absorção e reação natural destes gases e reação humana e do sistema natural às mudanças no clima.

Comparando os modelos DICE e MERGE, é possível identificar que o MERGE incorpora o processo de reação humana e do sistema natural às mudanças climáticas, os quais são de difícil precificação, como por exemplo: perda de biodiversidade, poluição do ar, mortalidade, migração, desastres naturais, entre outros.

---

<sup>12</sup> Os trabalhos utilizados foram: os modelos de mudança climática de Schneider e Thompson (1981), Stoufer, Manabe e Bryan (1989) e Schlesinger e Jiang (1990); dados para mudança de temperatura global da *U.S Natural Academy of Sciences*; e dados para transferência de temperatura entre águas profundas e rasas de Schneider e Thompson (1981).

A estrutura do MERGE é bem parecida com a do DICE (MANNE *et al.*,1995), logo dar-se-á importância às diferenças existentes entre os dois modelos. O modelo MERGE é dividido em três sub-modelos: a) o GLOBAL2200; b) o submodelo do clima; e c) o submodelo do dano.

O GLOBAL2200 divide o mundo em 5 regiões geopolíticas: Estados Unidos, outras nações OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*), repúblicas da União Soviética, China e restante do mundo. Cada região é vista como um agente tomador de preço, independente e está sujeita a restrição orçamentária intertemporal. A função produção possui 4 fatores são eles capital (K), trabalho (L), energético (E) e não energético (N).

O sub-modelo de clima descreve o relacionamento entre a concentração atmosférica dos gases do efeito estufa e o impacto resultante na temperatura. O MERGE trata de três dos principais gases do efeito estufa, ou seja, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Em contrapartida o DICE converte a emissão de todos os gases em dióxido de carbono equivalente.

O sub-modelo de dano objetiva mensurar os danos causados pela mudança de temperatura calculada no sub-modelo de clima. Neste sub-modelo incorpora-se danos precificáveis e danos não precificáveis.

Manne *et al.* (1995) construíram cinco cenários, são eles: a) sem intervenção no mercado, b) imposição de uma taxa sobre emissões de carbono começando em US\$1 por tonelada emitida em 2000 e crescendo a taxa de 5% ao ano; c) imposição de taxa começando em US\$5 por tonelada em 2000 e crescendo a 5% ao ano, d) estabilização das emissões ao nível de 1990, e) estabilização da concentração de gases na atmosfera aos níveis de 1995.

No exemplo (a) as emissões crescem a taxas decrescentes até 2200, e a queda da taxa é devido às fontes não renováveis serem exauridas. No exemplo (b) quando a taxa sobre emissão sobe acima de US\$ 200 por tonelada, a tecnologia livre de carbono se torna a escolha ótima. A previsão até 2200 indica que a política com os melhores impactos do aquecimento global no produto é aquela cuja concentração se estabelece aos níveis de 1995 (e).

Com relação aos resultados regionais as maiores perdas são para os países em desenvolvimento. Isto ocorre por que estes tendem a ter grande parcela do seu produto atrelada a setores sensíveis ao clima, como agropecuária. É importante ressaltar que os danos precificáveis são a menor parte dos danos totais, ou seja, os danos não precificáveis são relativamente mais preocupantes.

Howarth (1998) estende o trabalho de Howarth e Norgaard (1992), examinando as interações entre clima-economia em um modelo competitivo de tempo discreto. Os autores

maximizam o valor presente dos benefícios líquidos da redução de emissão de gases causadores do efeito estufa em um equilíbrio Pareto eficiente. Dizendo de outra forma analisam as respostas de uma economia de mercado a políticas alternativas de mudança climática. Sua ligação com o modelo DICE se dá na calibragem do modelo. Os parâmetros foram calibrados baseados nas restrições técnicas do modelo DICE.

Na estrutura do modelo de Howarth (1998) os indivíduos vivem por dois períodos,  $t$  e  $t+1$ , e recebem transferências do governo igual a  $\pi_{yt}$  em  $t$  e  $\pi_{ot+1}$  em  $t+1$ . O governo utiliza das receitas geradas por um imposto sobre as emissões de gases do efeito estufa de forma a alcançar uma distribuição equilibrada de bem estar entre gerações. Os indivíduos maximizam sua função utilidade determinado por uma função utilidade logarítmica, onde há uma taxa de desconto inter-temporal que representa o peso relativo de consumir mais no presente. A função produção incorpora as emissões de gases (E) e a temperatura média global (T), além de capital (K) e trabalho (L).

Para análise de resultados foram construídos blocos de equações que determinam, dado o nível de emissão, as mudanças climáticas futuras e incorporam três tipos de cenários de políticas alternativas para as transferências governamentais entre gerações. No primeiro, as taxas sobre as emissões são escolhidas de forma a alcançar uma alocação eficiente dos recursos, enquanto as receitas são distribuídas, por meio de transferências, igualmente entre os indivíduos. No segundo cenário o governo pretende maximizar a utilidade conjunta do consumidor, escolhendo o nível de taxa sobre emissões e de transferências entre gerações. No terceiro o governo possui as mesmas restrições impostas no cenário 1, porém diferencia-se em não impor uma regra de taxa eficiente.

Os resultados comparam o nível das variáveis no ano de 2000 com o nível de longo prazo, e estes indicam que: a) Cenário 1 – O consumo per capita aumenta 153%, de US\$ 4.058/ano para US\$ 15.268/ano, as emissões aumentam de 8,6 para 24,2 bilhões de toneladas de carbono equivalente e a temperatura média do planeta sobe 7,4° C; b) Cenário 2 – O consumo aumenta de US\$ 3.161/ano para US\$ 18.053/ano, as emissões aumentam de 5,3 para 7,6 bilhões de toneladas de carbono equivalente e a temperatura média do planeta aumenta em 3,4° C; c) Cenário 3 – O consumo de longo prazo cresce 4% em contraste com cenário 1, as emissões aumentam de 8 para 13.38 bilhões de toneladas de carbono equivalente e a temperatura média do planeta aumenta em 4,3° C.

Para Ansuategi e Escapa (2002) há uma série de fatores do lado da procura que podem ser esperados para compensar o efeito que o crescimento tem sobre a geração de poluição,

porém há de se considerar as falhas existentes no mercado que dificultam a precificação e responsabilização da degradação ambiental. Uma solução seria a intervenção do governo, porém nesta também há falhas, por exemplo, o beneficiamento de países que não adotaram nenhum programa de redução de emissões em detrimento de outros que a adotaram. Os autores destacam a importância da inclusão dos impactos inter-temporais, ou entre geração, da degradação ambiental.

Neste sentido Ansuategi e Escapa (2002) exploram as consequências que a presença de efeitos de transbordamentos (*spillover*) entre gerações têm sobre o relacionamento entre crescimento econômico e emissões de gases do efeito estufa. A idéia é captar os efeitos das defasagens temporais, por exemplo, um aumento nas emissões em  $t$  eleva a temperatura e reduz a produtividade agrícola em  $t + 1$ .

Ansuategi e Escapa (2002) calibram o modelo com base no trabalho de Howarth (1998) e no modelo DICE de Nordhaus (1992). Foram construídos oito cenários baseados no trabalho de Howarth (1998). Os resultados indicam que: se o formulador de políticas públicas for incapaz de programar a transferência de renda entre gerações, o relacionamento entre emissões e produto futuro será crescente a taxas decrescentes, do contrário o relacionamento seria de um “U” invertido; a existência de defasagens nos impactos da poluição no produto implicaria em um relacionamento mais acentuado entre as emissões e produto, se e somente se, o formulador de políticas não tiver capacidade para implementar as transferências entre gerações, do contrário, a existência de defasagens tem pouco impacto na relação emissão-produto.

### 2.2.3 Modelo de crescimento endógeno

Os modelos de crescimento endógeno estão representados por: Huang e Cai (1994), Verdier (1995), Bovenberg e Smulders (1995), Elbasha e Roe (1996), Bovenberg e Mooij (1997), Byrne (1997) e Barbier (1999).

De acordo com Romer (1996) os modelos de crescimento de Solow e de gerações sobrepostas colocam a acumulação de capital e o trabalho efetivo como fonte de crescimento. Porém essas duas variáveis sozinhas não são capazes de explicar o crescimento econômico contínuo. Os modelos de crescimento endógeno apresentam duas novas abordagens à função de produção clássica de Solow. A primeira da maior importância ao componente tecnológico

da função produção e a segunda destaca a importância do capital humano para definição do nível de produção de uma economia.

Huang e Cai (1994) pensando em crescimento sustentável desenvolvem um modelo de crescimento endógeno que leva em conta as preferências do consumidor para bens, o nível de produção, tecnologia redutora de degradação ambiental e externalidade positiva provida pelo governo com o controle sobre a poluição.

No modelo os consumidores maximizam utilidade e as firmas lucro. As emissões são afetadas negativamente pelos gastos do governo de incentivo a redução de emissões e pelos gastos no controle de poluição per capita, e positivamente pelo nível de capital per capita. Logo, no modelo o governo tem papel essencial no controle da poluição.

Os autores propõem uma série de simulações, como comparar: uma economia de planejamento central com uma economia de mercado, e economias em diferentes estágios de desenvolvimento (não desenvolvidas, em desenvolvimento e desenvolvidas). As conclusões indicam que, no longo prazo: o consumo per capita cresce a uma mesma taxa que o gasto per capita no controle de poluição e o estoque de poluição cresce a uma taxa menor, a taxa de crescimento do consumo em uma economia de planejamento central é maior do que em uma economia de competição perfeita e ocorre um crescimento mais rápido nas emissões nos estágios iniciais de desenvolvimento de uma economia.

Verdier (1995) desenvolve um modelo de crescimento endógeno com poluição ambiental. Neste as firmas criam por meio de P&D (pesquisa e desenvolvimento) novos produtos e escolhem o nível de poluição deste de acordo com maior ou menor custo de investimento em P&D. O autor investiga e compara os efeitos de taxas sobre emissão e tecnologia padrão. O propósito é inserir na literatura a utilização de modelos de crescimento endógeno para analisar questões relacionadas a conservação ambiental e crescimento econômico. Já o objetivo principal é mostrar que dependendo da taxa sobre emissões escolhida, esta pode não causar redução no produto, pelo contrário, pode levar a um maior crescimento do produto da economia. Trata-se de um modelo em que há uma firma representativa por setor, comportando-se como em competição perfeita, e cada produto é caracterizado por uma taxa particular de emissão.

Na mesma linha Bovenberg e Smulders (1995) desenvolvem um modelo que incorpora crescimento endógeno e meio ambiente. As principais contribuições são: a) exploram em que condições o crescimento do produto físico é sustentável; b) envolvem modelagem do progresso tecnológico endógeno; e c) contribuem para investigação de como uma política ambiental ambiciosa afeta o equilíbrio de longo prazo.

No modelo a produção depende de capital físico e humano, trabalho e recursos naturais. Sendo que o fator de produção recurso natural é modelado como sendo uma fonte renovável. A estrutura do modelo conta com dois setores produtivos, um encarregado de produção de bens, tanto para consumo quanto para investimento, e o segundo gera conhecimentos técnicos para um processo produtivo menos poluente.

Elbasha e Roe (1996) desenvolvem um modelo para estudar a interação entre crescimento econômico, comércio e meio ambiente. Trata-se de um modelo multi-setorial que incorpora os pressupostos: economia pequena e aberta, mudanças tecnológicas são endógenas e expandem a eficiência no uso dos insumos intermediários, inventores produzem patentes que são infinitas e recebem lucro de monopólio, existem dois setores na economia que produzem bens finais (agricultura – mais ligada a poluição da água e indústria – mais ligada a poluição do ar) e um setor de pesquisa e desenvolvimento.

Os principais resultados de longo prazo indicam que: países em que os consumidores se preocupam mais com os efeitos das externalidades ambientais crescem mais devagar do que aqueles cujos consumidores se preocupam menos; o crescimento é menor quanto maior for os efeitos ambientais na utilidade dos consumidores; e o efeito do comércio no meio ambiente é ambíguo e depende da elasticidade preço de oferta dos bens comercializáveis.

Bovenberg e Mooij (1997) estudam como uma reforma nos impostos pode alterar o nível de poluição, crescimento econômico e bem estar dentro de um modelo de crescimento endógeno. A principal contribuição dos autores é que ao invés de proporem escolha de taxa de imposto ótimo, deslocam a discussão para uma reforma na cobrança de impostos.

Para produção as firmas combinam dois tipos de insumos intermediários: insumos materiais produzidos a partir da combinação de capital físico e investimentos do governo, e insumos ambientais que é uma função do nível de poluição e do investimento privado que permite à firma aumentar o nível de produção sem aumentar o de poluição. O consumidor é representativo e maximiza sua função utilidade que possui dois argumentos: consumo privado e qualidade ambiental. O governo tributa a produção e a emissão de poluentes e gasta a receita obtida para financiar os investimentos públicos e subsidiar a redução de poluição.

Os resultados indicam que um deslocamento no mix de impostos, que substitua as taxas sobre o produto por taxas sobre poluição pode gerar crescimento econômico, por meio de dois canais: como o fator ambiental é um fator de produção, a melhora na qualidade ambiental pode implicar em aumento de produtividade; e a reforma de impostos pode impulsionar o crescimento na medida em que com a redução da carga tributária sobre produção a lucratividade das firmas aumenta.

Barbier (1999) sugere que, em determinado país, a disposição a ofertar inovação pode contrair quando a taxa de exploração de recursos naturais for alta. A partir dessa hipótese o autor constrói um modelo de crescimento endógeno com recursos naturais não renováveis, a fim de, demonstrar como ocorre a interação entre taxa de inovação e taxa de exploração de recursos naturais.

O autor desenvolve dois modelos: um modelo de crescimento endógeno que ignora qualquer efeito negativo entre aumento de degradação ambiental e inovação e um segundo que permite tal hipótese. A função de produção incorpora: estoque de conhecimento (tecnologia), oferta de trabalho não qualificado, uso de bens duráveis, taxa de utilização de recursos naturais e estoque de capital humano. Os resultados indicam que, em economias de baixa renda, a maior taxa de exploração de recursos naturais contrai sua capacidade de inovar, o que leva a uma taxa de crescimento de longo prazo inferior a taxa de crescimento sugerida pelo modelo de crescimento endógeno.

Padilla (2002) enfatiza que os modelos macroeconômicos aplicados às alterações climáticas tem-se centrado sobre a escolha da taxa de desconto intertemporal<sup>13</sup>. Em geral, os modelos consideram toda a humanidade como se fosse um único agente imortal. De acordo com o autor esta forma convencional de tratar a taxa de desconto não pode conduzir a uma alocação compatível com as preferências dos indivíduos. Além disso, se uma taxa de desconto acima da taxa de crescimento econômico for utilizada, o custo atual de um controle significativo de emissões, expresso em valor futuro, poderia ser maior do que o futuro PIB.

O autor ainda destaca que muitos dos modelos aplicados às alterações climáticas futuras extrapolam as taxas de crescimento econômico, utilizando como base o comportamento passado, sem considerar os impactos negativos que este crescimento tem provocado no ambiente. Outro viés seria o de supervalorização do ciclo de vida das partículas de CO<sub>2</sub>, ou seja, considera-se nos modelos que a absorção de CO<sub>2</sub> pela natureza ocorre de forma mais rápida do que na realidade. Consequentemente a concentração máxima de CO<sub>2</sub> na atmosfera e o aquecimento global são sobreestimados.

Para o autor, as análises de custo-benefício convencionais não são apropriadas para um problema que possui tanta incerteza e gravidade como o fenômeno das mudanças climáticas.

---

<sup>13</sup> Na análise convencional se aplica a taxa de desconto na sociedade atual para descontar todos os custos e benefícios que irão ocorrer no futuro, como se todos os futuros impactos ocorressem nesta mesma geração da sociedade.

## 2.3 Modelos de insumo-produto

Para Leontief (1970) a incorporação de externalidades dentro de um modelo convencional de insumo-produto torna possível produzir respostas concretas para questões fundamentais ligados a efeitos ambientais.

Geração e eliminação de vários poluentes é descrito sistematicamente e analisado dentro da estrutura de um sistema convencional de insumo-produto (LEONTIEF e FORD, 1986). Machado *et al.* (2001) destacam que todos os produtos produzidos na economia estão direta ou indiretamente associados ao uso de energia e conseqüentemente às emissões de poluentes. A indústria automobilística, por exemplo, ao produzir carros emite uma quantidade de poluentes (emissão direta), além disso, é necessário contabilizar também a emissão daquelas indústrias que fornecem insumos a indústria automobilística (emissão indireta). Ao aplicar a técnica de insumo-produto é possível traçar o uso de energia e emissões, tanto diretas quanto indireta, associados a produção de uma indústria.

Leontief e Ford (1986) introduzem a primeira análise de emissões de poluidores utilizando o método de insumo-produto. Tal análise foi feita para a economia dos Estados Unidos. Os autores contaram com matrizes de insumo-produto desagregadas em 83 setores para o ano de 1958, e a projetada para 1980, com os dados retirados da OBE<sup>14</sup> (*Office of Business Economics*). As matrizes de coeficientes técnicos da economia foram estendidas para cobrir não somente produção e consumo de bens ordinários mas também geração e eliminação de poluentes em um modelo de insumo-produto híbrido. A análise foi realizada invertendo a demanda e a estrutura produtiva entre os anos, método também chamado de estática comparativa. Mais especificamente calcula-se o impacto sobre as emissões de gases poluidores mantendo uma estrutura de demanda de 1980, em uma matriz de coeficientes técnicos de 1958. Também vale o contrário, ou seja, manter uma estrutura de demanda de 1958 em uma matriz de coeficientes técnicos de 1980. Esta análise torna possível inferir como a estrutura de produção setorial se alterou de 1958 para 1980.

Os modelos I-P (insumo-produto) têm sido modificados para incorporar as interações entre atividade econômica e meio ambiente, Hawdon e Pearson (1995) classificam em três categorias básicas os modelos de I-P ambientais: a) modelos gerais de I-P que incorporam linhas adicionais para representar a geração de poluentes, e colunas para representar atividade redutora de emissão; b) modelos ecológicos-econômicos que ampliam a cobertura do modelo

---

<sup>14</sup> O OBE foi estabelecido em 1951 como uma unidade do departamento de Comércio Americano. Em 1972 o OBE foi renomeado para *Bureau of Economic Analysis*.

básico de I-P incorporando commodities ecológicas que são insumos ou resíduos do processo produtivo, porém para implementar este é necessário ter um modelo de I-P aumentado por sub-matrizes, que permitem transações dentro e entre os setores ecológicos e econômicos; c) modelos de commodity por indústria que incorporam commodities ecológicas dentro de um sistema I-P básico por meio da introdução de linhas e colunas de insumos e produtos ecológicos. Os autores enfatizam a dificuldade de se encontrar modelos que aplicam as categorias *b* e *c*, dada indisponibilidade de dados, logo a categoria *a* é a mais utilizada na literatura.

Os autores ainda propõem uma classificação de modelos I-P com base na aplicação dos mesmos. Assim sendo é possível separar os modelos I-P em : a) estratégia e problemas de políticas; b) coeficientes de poluição e projeção de resíduos; c) custo de redução e tratamento das emissões; c) impacto de preços; e d) mudanças tecnológicas e eficiência energética.

Os modelos I-P do tipo *a* são utilizados para investigar problemas de políticas de energia-ambiente e estratégias, que incluem: influências de política no nível e no padrão da demanda final; políticas alterando a combinação de tecnologias, por exemplo, mudanças na combinação de tecnologia de energia que produzisse menos poluentes; investimento em maior eficiência energética; entre outros. Exemplos de aplicação seriam Cruz e Barata (2007) e Hoekstra e Jansenn (2006).

Cruz e Barata (2007) exploram a metodologia I-P como uma alternativa para estudar interações entre energia, ambiente e atividade econômica, para a economia de Portugal. Para tanto os autores realizam uma série de desagregações no modelo, transformando combustíveis fósseis em combustíveis sólidos (carvão), líquidos (petróleo) e gasosos (gás natural), sendo que cada categoria possui um nível de emissão de poluentes por uso. Distinguem também a demanda total por interna e externa, assim como emissões causadas pela demanda final e pelo processo produtivo. As emissões determinadas pela produção interna ainda são separadas em para atender mercado interno ou externo.

A base de dados contou com matriz insumo-produto de Portugal para 1999 com 63 setores e balanço energético para o mesmo ano. Os autores identificaram: setores com mais elevada intensidade energética, quantidade de emissão de poluente em um determinado país para atender a demanda portuguesa, assim como nível de emissão em Portugal para atender demanda interna e externa.

Hoekstra e Jansenn (2006) destacam que com o aumento da dependência espacial das atividades econômicas, as questões sobre a responsabilidade de emissões que atravessam fronteiras nacionais têm ganhado mais espaço. O objetivo é analisar como mudanças

estruturais associadas ao efeito de políticas sobre o meio ambiente têm o efeito de deslocar as emissões entre países. Estas questões são tratadas em um modelo I-P dinâmico, com dois setores e dois países, que inclui progresso tecnológico, transbordamento tecnológico e crescimento econômico. O modelo foi aplicado para dois países hipotéticos, para ilustrar, tanto a dinâmica quanto as possíveis distorções que podem ocorrer devido à implementação de taxas sobre as emissões em um país e no outro não.

Os modelos do tipo *b* representam a forma mais simples de estender um modelo para incorporar a geração de poluentes, adicionando uma linha extra no sistema de I-P para cada poluente, onde o *j*-ésimo elemento de uma linha representa a quantidade física de poluente emitido pelo sector *j* naquele período. Em seguida, é possível fazer exercícios sobre o pressuposto de linearidade da relação entre o produto de cada sector e a quantidade de poluentes emitida. Dentro desta perspectiva Lenzen, Pade e Munksgaard (2008) estruturam um modelo de insumo-produto multi-regional para calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada nas commodities comercializadas internacionalmente. O modelo conta com 5 regiões, Dinamarca, Suécia, Alemanha, Noruega e restante do mundo. A Dinamarca é o país base, e os demais foram escolhidos por serem os mais importantes parceiros comerciais deste país.

O método envolve a construção de três cenários, o primeiro conta com as cinco regiões autônomas, no segundo é permitido comércio bilateral, onde todos os países comercializariam com a Dinamarca, e no terceiro o comércio é multilateral. Por se tratar de integração de cinco regiões dentro de um modelo I-P, as compatibilizações são importantes no modelo, e referem-se desde uma estruturação de moedas até reclassificação de setores e commodities. O principal resultado do trabalho mostrou a importância de considerar explicitamente a estrutura de utilização de energia e de emissões de CO<sub>2</sub> dos parceiros comerciais, para assim chegar a multiplicadores de CO<sub>2</sub> incorporados ao comércio mais realistas.

Uma forma básica de tratar os modelos do tipo *c* dentro da estrutura de I-P, seria adicionando colunas para representar os processos de redução da poluição, bem como linhas para representar a geração de poluição. O modelo de Wiedmann *et al.* (2007) pode ser usado para investigar a geração e a redução da poluição no âmbito de uma variedade de suposições sobre a tecnologia adotada, normas de qualidade ambiental e demanda final. Hawdon e Pearson (1995) concluem que os modelos que avaliam efetivamente o custo de redução de emissões estão muito mais ligados a trabalhos de equilíbrio geral do que insumo-produto básico.

Os impactos de alterações nos preços, modelos do tipo *d*, podem ser incorporados ao modelo I-P pelo sistema de equações de preço que fundamenta o sistema básico de I-P. Logo podem ser usados para explorar as implicações de aumento nos custos de produção devido a necessidade de redução da poluição. Assim, é possível estimar o impacto do aumento do custo sobre o produto de todos os setores.

Os modelos do tipo *e*, que permitem alterações nas combinações de tecnologias empregadas, oferecem possibilidades significativas para redução de emissão de gases poluentes. As alterações tecnológicas podem vir de mudanças na matriz de coeficientes, tornando os setores mais eficientes no uso de insumos e produtos tanto energéticos quanto não energéticos, ou no vetor de coeficientes de insumo, refletindo substituição entre fatores energéticos mais poluentes por fatores menos poluentes. Um exemplo de aplicação seria Bhutto e Cagathai (2008).

Bhutto e Cagathai (2008) propõem uma redução de emissão para Turquia por meio de substituição de 100% do uso dos diversos combustíveis fósseis por gás natural. A base de dados conta com matriz insumo-produto da Turquia, emissões setoriais de gases poluentes, preços dos diversos tipos de combustíveis e fatores de emissão por tipo de combustível, todos para o ano de 1998. Os resultados mostram redução na emissão de dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, metano, monóxido de carbono, hidróxido de enxofre e óxido nítrico de 31%, 97%, 45%, 89%, 99% e 88%, respectivamente.

No que tange a trabalhos de insumo-produto aplicados à emissão de dióxido de carbono, para o caso brasileiro, é possível citar Carvalho e Perobelli (2009), Hilgemberg e Guilhoto (2006) e Morais et al (2006). Hilgemberg e Guilhoto (2006) quantificam as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo, e identificam os setores-chave no que diz respeito às emissões e o efeito sobre a produção e o emprego de eventuais restrições à emissão de CO<sub>2</sub>. Para tanto utilizaram um modelo de insumo-produto híbrido e inter-regional, com seis regiões brasileiras Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, restante do Sudeste e Sul. O resultado mais importante indica que as emissões em todas as regiões devem ser atribuídas, em última análise, aos efeitos do aumento na produção sobre o consumo das famílias e que as políticas de controle deveriam ser concentradas nos produtos que atendem a esse consumo, principalmente nas regiões Nordeste e Sul.

Já Carvalho e Perobelli (2009) utilizam o método de insumo-produto em sua forma inter-regional com o objetivo de, quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, identificar setor-chave nas emissões calculando as elasticidades e

ainda verificar a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada nas exportações. Os autores utilizam a matriz insumo-produto do IBGE para o ano de 1996, tornando-a híbrida (valores monetários e quantidade física de emissão), e inter-regional, sendo que as regiões discriminadas foram São Paulo e restante do Brasil.

Os resultados indicam que o efeito de um aumento de R\$ 1 bilhão na demanda final é mais intenso nos setores localizados no restante do Brasil, onde em média causa um acréscimo de 6,39 mil toneladas de carbono contra 4,85 mil toneladas na região de São Paulo. Os setores considerados chave, ou seja, aqueles responsáveis por emissões acima da média, tanto na região de São Paulo quanto no restante do Brasil, são: siderurgia, metalurgia básica e transportes. No que diz respeito aos setores exportadores, o trabalho apresentou evidências que no restante do Brasil e no estado de São Paulo, a pauta de exportações se concentra em bens intensivos em poluição.

Morais et al. (2006) aprofundam o estudo a respeito das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub>, por meio de utilização de decomposição estrutural, para os anos de 1990 e 2003. Os autores verificam que setores como o de Transportes, Agropecuária, Mineral não Metálico, Siderurgia, Elementos Químicos, Refino do Petróleo e Extrativa Mineral foram os que mais contribuíram para o aumento de emissões de poluentes durante o período analisado. Estes mesmos setores à exceção do setor de transporte, foram também aqueles que mais contribuíram para a melhora na eficiência ecológica, ou melhora tecnológica. Outro resultado importante indica que o total de emissões de CO<sub>2</sub> pela economia brasileira em 2003 foi muito maior do que em 1990, devido à diversificação e expansão pela qual passou a economia nesses últimos anos. E apesar da melhora no aspecto da eficiência ecológica de alguns setores, este não foi suficiente para reduzir o montante total de emissões.

Foi apresentado, neste capítulo, uma revisão de trabalhos que utilizam modelos macroeconômicos ou de insumo-produto para o tratamento de questões relacionadas ao meio ambiente, ou seja, até o momento priorizou-se mostrar aplicações dos dois métodos em separado, já no próximo capítulo foi feita a integração destes dois métodos.

## 3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

Os objetivos deste capítulo são apresentar a metodologia de integração do modelo macroeconômico ao modelo de insumo-produto e descrever a base de dados utilizada com o intuito de gerar informações que facilitem a interpretação dos resultados. Para tal, o capítulo foi dividido em 2 seções. A primeira apresenta o método e a segunda a base de dados.

### 3.1 Metodologia

A formulação do modelo macroeconômico de crescimento e do modelo de insumo-produto, assim como a integração destes foi construída em Arbex e Perobelli (2009). Os autores propõem integrar um modelo macroeconômico a um modelo de insumo produto para projetar o consumo brasileiro de energia renovável e não renovável, para o período de 2004 a 2014. A consistência na integração de um modelo macroeconômico com um modelo de insumo-produto advém da indução de um choque macro-fundamentado à estrutura de insumo-produto, evitando a utilização de choques aleatórios. Entende-se como choque macro-fundamentado a utilização de uma taxa de crescimento do produto consistente com a solução de um modelo macro-econômico de longo prazo.

A escolha do período de dez anos para previsão é consequência da integração de modelos utilizada. A principal característica dos modelos de insumo-produto é carregar em sua estrutura informações referente às relações inter-setoriais do processo produtivo. Todavia, é conhecido na literatura<sup>15</sup> que há mudanças na estrutura de relações inter-setoriais, no decorrer do tempo, de forma que, representar períodos diferentes utilizando uma mesma matriz insumo-produto introduz um componente de erro na inferência. Logo, quanto mais longo o período de previsão maior será o componente de erro.

As sessões 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3 seguem a estrutura de Arbex e Perobelli (2009), com alteração nas equações (35) e (41) desta dissertação, objetivando incorporar as emissões de CO<sub>2</sub> ao modelo. Além disso, foram adicionados mais dados à calibragem do modelo (matrizes

---

<sup>15</sup> Trabalhos como: Casler e Rose (1998), Chang e Lin (1998), Dietzenbacher e Los (1998) e Hoekstra e van den Bergh (2002); avaliam as mudanças, proporcionadas pelo tempo, na estrutura de produção via modelos de insumo produto. Os dois primeiros trabalhos avaliam o nível de mudanças no período de 10 anos.

insumo-produto dos anos de 2000 e 2005 fornecidas pelo IBGE), e troca do foco de projeção de energia para projeção de emissões de CO<sub>2</sub>.

A apresentação da seção 3.1 está dividida em três subseções, com o objetivo de mostrar as especificidades de cada modelo e apresentar a integração dos mesmos. A seção 1 apresenta o modelo macroeconômico, a seção 2 o modelo de insumo-produto e a seção 3 a integração dos dois modelos.

### 3.1.1 O modelo macroeconômico

O modelo de crescimento utilizado neste trabalho é um modelo de Solow estendido, que incorpora além dos fatores primários, trabalho e capital, os fatores energéticos renováveis e não renováveis.

A incorporação destes fatores acrescenta informações no trabalho à medida que: são importantes fatores de produção; mostram o problema de escassez de energia não renovável, por meio da imposição de estoques fixos; e ainda permite a substituição do fator energético não renovável por renovável ao longo do tempo.

Há  $m$  setores produtivos na economia, produzindo  $m$  diferentes bens e serviços. Cada setor faz a escolha de seu nível de produção considerando uma firma representativa maximizadora de lucro. A função de produção de uma firma representativa do setor  $i$ , toma então a seguinte forma:

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha_i} Z_{it}^{\kappa_i} E_{it}^{\varepsilon_i} L_{it}^{(1-\alpha_i-\kappa_i-\varepsilon_i)} \quad (4)$$

onde  $t$  e  $i$ , denotam tempo e setor, respectivamente. Logo o produto do setor  $i$  no tempo  $t$  ( $Y_{it}$ ) é determinado pela quantidade de fatores produtivos capital (K), trabalho (L), energia não renovável (E), energia renovável (Z) e tecnologia (A) disponível no setor  $i$  no tempo  $t$ . Um detalhe importante é que o tempo não entra diretamente na função de produção, e sim indiretamente por meio dos fatores de produção KZEL. Isto é, o nível de produto muda no tempo, se e somente se, a quantidade de fatores também mudarem e somente ocorrerá aumento no produto dado uma mesma quantidade dos fatores KZEL, se ocorrer progresso tecnológico.

Por conveniência será considerado por  $\beta_i$  o coeficiente do fator de produção trabalho (isso implica que  $\beta_i = 1 - \alpha_i - \kappa_i - \varepsilon_i$ ). Com relação às imposições sobre os expoentes é possível dizer que: os expoentes de forma geral assumem valores estritamente positivos ( $\alpha_i, \kappa_i, \varepsilon_i, \beta_i > 0$ ), retornos constantes a escala ( $\alpha_i + \kappa_i + \varepsilon_i + \beta_i = 1$ ) e cada expoente representa a participação daquele fator na produção total daquele setor. O progresso tecnológico é *Hicks-neutral*<sup>16</sup>. Nesta economia os setores diferem não somente nos bens produzidos, mas também na intensidade de uso de capital e das duas formas de energia.

O pressuposto de retornos constantes de escala implica que ao dobrar a quantidade dos fatores de produção, capital, trabalho, energia renovável e energia não renovável, a produção também dobra. Matematicamente esta imposição toma a seguinte forma;

$$Y_{it} = A_{it} F(K_{it}, Z_{it}, E_{it}, L_{it}) \quad (5)$$

$$cY_{it} = A_{it} F(cK_{it}, cZ_{it}, cE_{it}, cL_{it}). \quad (6)$$

A equação (5) representa a produção de um setor qualquer como dependente de progresso tecnológico e de uma função dos quatro fatores produtivos. Já a equação (6) mostra que ao multiplicar a quantidade dos quatro fatores de produção por um escalar qualquer ( $c$ ) o nível de produção também é multiplicado pelo mesmo escalar.

Será assumido também que  $F(K_{it}, Z_{it}, E_{it}, L_{it})$  é continuamente diferenciável em suas variáveis KLEZ e se a quantidade disponível dos fatores de produção for zero a produção também é zero ( $F(0,0,0,0) = 0$ ).

Os pressupostos que ainda faltam são aqueles que descrevem como os estoques de trabalho, capital, tecnologia, energia renovável e energia não renovável mudam durante o tempo.

A acumulação de capital do setor  $i$  é descrita da seguinte forma:

$$K_{i(t+1)} = S_{i(t+1)} + (1 - \delta)K_{it}. \quad (7)$$

---

<sup>16</sup> Se tecnologia entra na função produção na forma economizadora de trabalho ( $Y = F(K, AL)$ ) esse progresso tecnológico é chamado *Harrod-neutral*. O progresso técnico ainda pode entrar na forma economizadora de capital  $Y = F(AK, L)$ , ou como progresso tecnológico externo a função produção ( $Y = AF(K, L)$ ) nesse caso chamamos de progresso tecnológico *Hicks-neutral* (ROMER, 1996).

A equação (7) informa que a quantidade de capital no período  $t + 1$ , depende do nível de poupança  $S_{i(t+1)}$  no mesmo período e do total de investimento no período anterior  $K_{it}$ , menos o capital depreciado (cuja taxa de depreciação é  $\delta$ ). Um pressuposto implícito na equação (7) é que o investimento em  $t$  é igual a poupança no mesmo período. E para poupança, por sua vez, é assumido que as firmas de cada setor poupam uma fração exógena,  $s_i$ , da sua renda de cada período.

$$S_{it} = s_i Y_{it} \quad (8)$$

Uma questão chave no modelo é o uso de fontes naturais de energia como insumos no processo produtivo dos bens. As fontes não renováveis são depreciadas com o seu uso, logo no início de qualquer período  $t$ ,  $N_t$  é o estoque remanescente de fontes não renováveis. Então parte deste estoque de energéticos é usado no período  $t$  e denotado por  $E_t$ . A interação entre demanda e oferta envolvendo preços correntes e futuros determina como um dado estoque remanescente de recursos não renováveis irá ser alocado no tempo. Assume-se que em cada período certa fração  $s_i^E$  do estoque de fontes não renováveis é usada na produção do setor  $i$  e que o valor de  $s_i^E$  está entre zero e um. Logo é possível escrever,

$$E_{it} = s_i^E N_t. \quad (9)$$

A equação (9) diz que a quantidade de energia não renovável utilizada pelo setor  $i$  no período  $t$  é uma fração do estoque total de energia não renovável no período  $t$ . O somatório da participação de cada setor na utilização do estoque de recursos não renováveis (ou  $\sum_{i=1}^m s_i^E = s^E$ ) resulta na parcela total de consumo de recursos não renováveis para produção na economia.

O estoque de energia não renovável é reduzido a cada período em igual montante ao utilizado no processo produtivo. Portanto no período  $t + 1$  o estoque de fontes não renováveis será,

$$N_{t+1} = N_t - \sum_{i=1}^m E_{it}, \quad \text{ou} \quad (10)$$

$$N_{t+1} = N_t - \sum_{i=1}^m s_i^E N_t. \quad (11)$$

A dinâmica da variável energia renovável segue o mesmo padrão apresentado para energia não renovável. A principal diferença é que a energia renovável possui uma taxa de renovação. Logo os estoques estão sempre sofrendo decréscimos pelo uso, e acréscimos pela produção realizada. Essa dinâmica está representada nas equações (12) e (13).

$$Z_{it} = s_i^Z R_t \quad (12)$$

$$R_{t+1} = z_t R_t - \sum_{i=1}^m s_i^Z R_t \quad (13)$$

A equação (12) mostra que o uso de energia renovável pelo setor  $i$  no tempo  $t$  representa uma fração  $s_i^Z$  do estoque total de energia renovável no tempo  $t$  ( $R_t$ ). A equação (13), por sua vez, mostra que o estoque de energia renovável ( $R_{t+1}$ ) é igual ao estoque em  $R_t$  mais uma taxa de regeneração (logo  $z_t > 1$ ) menos o que foi utilizado, no processo produtivo, pelos setores como um todo ( $\sum_{i=1}^m s_i^Z R_t$ ). A variável  $s_i^Z$  representa a parcela dos estoques de energia renovável utilizada pelo setor  $i$  na produção.

A dinâmica do fator trabalho utilizado por uma firma dentro do setor  $i$  pode ser descrita como:

$$L_{i(t+1)} = (1 + g_{L_{it}}) L_{it} \quad (14)$$

onde,  $g_{L_{it}}$  é a taxa exógena de crescimento da força de trabalho no setor  $i$  e a oferta total de trabalho é dada por  $L_t = \sum_{i=1}^m L_{it}$ . A taxa de crescimento da oferta de trabalho em cada setor varia a uma taxa constante e igual a taxa de crescimento da força de trabalho brasileira (ou  $g_{L_{it}} = g_{L_t}$ ). Este pressuposto determina que a estrutura de participação de cada setor na oferta de trabalho não se altera no tempo, ou seja, não há mobilidade de mão-de-obra entre os setores.

O progresso tecnológico também cresce a uma taxa exógena igual a  $g_{A_{it}}$ , e possui dinâmica representada pela equação (15),

$$A_{i(t+1)} = (1 + g_{A_i})A_{it} \quad (15)$$

onde  $g_{A_{it}} = g_{A_i}$ , ou seja, a taxa de crescimento da tecnologia é a mesma para todos os setores e igual a taxa de crescimento tecnológica brasileira.

Após concluída a apresentação da dinâmica dos fatores de produção, é possível reescrever a equação (4), do modelo de crescimento de Solow estendido, incluindo nesta as equações (9) e (12). O resultado é a equação (16).

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha_i} (s_i^Z R_t)^{\kappa_i} (s_i^E N_t)^{\varepsilon_i} L_{it}^{(1-\alpha_i-\kappa_i-\varepsilon_i)} \quad (16)$$

O objetivo é reescrever a equação (16) na forma de taxas de crescimento, e para isso é necessário aplicar o logaritmo e diferenças de tempo na equação (16). Este desenvolvimento está realizado passo a passo, nas equações (17), (18) e (19).

$$\log(Y_{it}) = \log[A_{it} K_{it}^{\alpha_i} (s_i^Z R_t)^{\kappa_i} (s_i^E N_t)^{\varepsilon_i} L_{it}^{(1-\alpha_i-\kappa_i-\varepsilon_i)}] \quad (17)$$

Na equação (18) não foi feito nenhum novo passo, com relação a equação (17), apenas uma abertura da equação que estava dentro do colchete.

$$\log(Y_{it}) = \log(A_{it}) + \alpha \log(K_{it}) + \kappa \log(s_i^Z) + \kappa \log(R_t) + \varepsilon_i \log(s_i^E) + \varepsilon_i \log(N_t) + (1 - \alpha_i - \kappa_i - \varepsilon_i) \log(L_{it}) \quad (18)$$

Já a equação (19) representa a equação (18), porém com diferenças de tempo em cada variável. Repare o fato de que as variáveis  $s_i^Z$  e  $s_i^E$  não variam no tempo, logo após aplicar a primeira diferença se tornam zero e não aparecem na equação (19).

$$g_{Y_{it}} \approx \alpha_i g_{K_{it}} + g_{A_i} + \kappa_i g_{R_t} + \varepsilon_i g_{N_t} - (1 - \alpha_i - \kappa_i + \varepsilon_i) g_{L_{it}} \quad (19)$$

onde,

$$g_{y_{it}} = \log(Y_{it}) - \log(Y_{i(t-1)}), \quad (20)$$

$$g_{k_{it}} = \log(K_{it}) - \log(K_{i(t-1)}), \quad (21)$$

$$g_{A_i} = \log(A_{it}) - \log(A_{i(t-1)}), \quad (22)$$

$$g_{R_t} = \log(R_{it}) - \log(R_{i(t-1)}), \quad (23)$$

$$g_{N_t} = \log(N_{it}) - \log(N_{i(t-1)}), \quad (24)$$

$$g_{L_{it}} = \log(L_{it}) - \log(L_{i(t-1)}). \quad (25)$$

Na equação (19) as taxas de crescimento nos estoques de energia renovável ( $g_{R_t}$ ) e não renovável ( $g_{N_t}$ ) são aproximadamente iguais a  $(z_t - s^Z)$  e  $(-s^E)$ , respectivamente. Consequentemente a taxa de crescimento de produto no setor  $i$  (equação 19) é dado por:

$$g_{Y_{it}} \approx \alpha_i g_{K_{it}} + g_{A_i} + \kappa_i (z_t - s^Z) + \varepsilon_i (-s^E) - (1 - \alpha_i - \kappa_i + \varepsilon_i) g_{L_{it}} \quad (26)$$

Se assumir neste modelo que a razão capital por produto ( $K_{it}/Y_{it}$ ) converge para uma taxa constante de nível de estado estacionário, estar-se-á assumindo também que a taxa de crescimento do produto e capital necessariamente converge para uma mesma taxa de crescimento.

Importante dar ênfase ao pressuposto, do modelo de Solow, que não importando o ponto inicial uma economia converge para um padrão de crescimento balanceado, uma situação em que as variáveis do modelo estão crescendo a uma taxa constante. Neste ponto o nível de capital e nível de produto cresceriam a uma mesma taxa. Logo incorpora-se à equação (26), a seguinte igualdade  $g_{Y_{it}} = g_{K_{it}}$  e ainda lembrando que  $\alpha_i + \beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i = 1$ , o resultado é a equação (27) que determina uma taxa de crescimento para o produto setorial de *steady-state*, de:

$$g_{Y_{it}} \approx \frac{1}{\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i} g_{A_{it}} + \frac{\kappa_i}{\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i} (z_t - s^Z) - \frac{\varepsilon_i}{\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i} s^E - \frac{1 - \alpha_i - \kappa_i + \varepsilon_i}{\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i} g_{L_{it}} \quad (27)$$

É possível destacar quatro importantes aspectos dessa taxa de crescimento setorial de longo-prazo, e estes estão referenciados na equação (27). Primeiro nota-se que é mais efetivo criar crescimento econômico a partir de progresso tecnológico do que aumentando a oferta de energia renovável. Isto pode ser observado pelo tamanho dos efeitos  $1/(\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i)$  e  $\kappa_i/(\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i)$ , da equação (27), além disso,  $1/\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i > 1$ .

Em segundo lugar o crescimento da população implica em redução na taxa de crescimento do produto setorial de montante determinado pelo termo  $(1 - \alpha_i - \kappa_i + \varepsilon_i) / (\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i)$ , equação (27).

O terceiro aspecto revela que um aumento na taxa de exploração de recursos não renováveis também implica em redução no crescimento econômico em montante determinado pelo termo  $\varepsilon_i / (\beta_i + \kappa_i + \varepsilon_i)$ , da equação (27), porém este efeito negativo pode ser reduzido por um aumento na taxa de renovação de recursos renováveis. Isto é quanto mais rápido for a extração dos recursos não renováveis, mais rápido estes recursos serão exauridos, e mais rápido a influência negativa da diminuição dos retornos dos outros fatores crescerá.

O quarto aspecto pode ser observado a partir do momento que ocorrer aumento na quantidade de trabalho em associação com crescimento na quantidade de capital. O aumento destes pressionará por maior utilização do recurso não renovável, por natureza limitado, o que implicará em menor taxa de crescimento do produto. Logo conclui-se que nesta economia a oferta limitada dos recursos não renováveis desaparece gradualmente, à medida que são utilizados na produção, diminuindo os retornos do aumento de capital e trabalho.

Uma importante conclusão a ser ressaltada diz respeito a incorporação de energias renováveis, este fator produtivo mostra ser uma importante fonte para reduzir os efeitos negativos da redução dos estoques dos energéticos não renováveis.

### 3.1.2 O modelo de insumo-produto

As matrizes de insumo-produto são matrizes de relações inter-setoriais, que revelam a interdependência entre os diferentes ramos que compõem a estrutura de produção da economia. Os modelos básicos são formulações que pretendem indicar as repercussões sobre as atividades setoriais de modificações autônomas em determinadas variáveis, ou seja, quantificar o efeito multiplicador destas variações sobre a produção corrente e o nível de emprego, a nível setorial, dado a interdependência da atividade produtiva.

As matrizes de insumo-produto de Leontief podem ser consideradas como uma desagregação, por ramos industriais, das contas básicas de um sistema tradicional de contabilidade social. Em sua forma usual, a matriz registra, em seus vetores coluna, todas as transações levadas a débito da produção, em todos os ramos considerados: como compras de bens e serviços e valor agregado. Já nas linhas, também para todos os ramos, a matriz traz as

transações levadas a crédito: como vendas inter-setoriais, e para consumo final (ROSSETI, 1992).

A Quadro 2 exemplifica uma matriz insumo-produto. Nela há três setores produtivos, agropecuária, indústria e serviços. Estes setores transacionam mercadorias entre si ( $x_{ij}$ ), e ainda produzem para atender uma demanda final, assim como consomem fatores primários para produzir. É possível olhar a matriz por dois lados. O primeiro seria observar na direção das linhas do setores 1, 2 e 3, este pode ser também chamado lado da demanda da matriz insumo-produto. Por exemplo, o setor agropecuário vende para ele mesmo (célula  $x_{11}$ ), vende insumos para o setor de indústria (célula  $x_{12}$ ), assim como para o de serviços (célula  $x_{13}$ ), e ainda atende ao mercado de demanda final (célula  $Y_1$ ), ou produtos para o consumo. O componente de demanda final ainda pode estar desagregado em consumo das famílias, do governo, investimento e exportações. O somatório destas células é o valor bruto de produção pelo lado da demanda. O mesmo pode ser descrito pelo lado da oferta, direcionando para as colunas, e o resultado é o mesmo valor bruto de produção.

**Quadro 2 Exemplificação de uma Matriz Insumo-Produto**

		1- Agropecuária 2-Indústria 3-Serviços			Demanda final				Valor Bruto de Produção	
					Consumo Famílias	Cosumo do Governo	Investimento	Exportações		Demanda Final Total
1- Agropecuária		$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$C_1$	$G_1$	$I_1$	$E_1$	$Y_1$	$X_1$
2-Indústria		$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$C_2$	$G_2$	$I_2$	$E_2$	$Y_2$	$X_2$
3-Serviços		$x_{31}$	$x_{32}$	$x_{33}$	$C_3$	$G_3$	$I_3$	$E_3$	$Y_3$	$X_3$
Valor Agregado Bruto	Salários	$W_1$	$W_2$	$W_3$						
	Outros	$OV_1$	$OV_2$	$OV_3$						
Valor Bruto de Produção		$X_1$	$X_2$	$X_3$						

Fonte: Rey (2000).

Uma questão importante que pode ser levantada, diz respeito, ao relacionamento do valor bruto de produção e produto de uma economia (PIB). A respeito deste Rossetti (1992) mostra que se for somado ao PIB de uma economia, os subsídios e valor das transações intermediárias, o resultado é o valor bruto de produção. Logo é possível concluir que os quadrantes de demanda final e de valor agregado bruto, representam o produto (PIB) de uma economia pelo lado da demanda e custo de fatores, respectivamente.

Para entender os desenvolvimentos realizados em uma análise de insumo-produto tradicional, será construída uma análise passo a passo, seguindo Miller e Blair (1985).

Reescrevendo a matriz insumo-produto exemplificada no Quadro 2, na forma de sistema de equações, encontra-se o seguinte:

$$\begin{cases} X_1 = x_{11} + x_{12} + x_{1n} + Y_1 \\ X_2 = x_{21} + x_{22} + x_{2n} + Y_2 \\ X_3 = x_{n1} + x_{n2} + x_{nn} + Y_n \end{cases} \quad (28)$$

onde cada variável foi chamada pelas mesmas letras utilizadas na Quadro 2. A equação (28) relaciona valor bruto de produção com as transações intermediárias setoriais e a demanda final setorial.

Considerando  $a_{ij} = x_{ij}/X_j$ , matricialmente a equação (28) fica da seguinte forma:

$$X_j = A_{ij} X_j + Y_i \quad (29)$$

A matriz  $A_{ij}$  é uma matriz  $n$  por  $n$  setores preenchida com os respectivos  $a_{ij}$ , ou também chamados coeficientes técnicos. Um dos principais pressupostos da metodologia de insumo-produto, incorporados neste coeficiente técnico, é aquele referente a função produção incorporada ao modelo, e representada em (30).

$$X_j = \min\left(\frac{x_{1j}}{a_{1j}}, \frac{x_{2j}}{a_{2j}}, \dots, \frac{x_{nj}}{a_{nj}}\right) \quad (30)$$

onde a notação  $\min(x, y, z)$  denota o menor dentre os números  $x$ ,  $y$  e  $z$ . O mais importante é destacar que esta conotação traz uma função produção de proporções fixas<sup>17</sup>, onde para ocorrer um determinado volume de produção é necessário uma quantidade fixa de cada fator, e ainda não pode haver substituição entre estes.

Reescrevendo a equação (29) na forma de sistemas de equações,

$$\begin{cases} X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{1n}X_n + Y_1 \\ X_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{2n}X_n + Y_2 \\ X_3 = a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + a_{nn}X_n + Y_n \end{cases} \quad (31)$$

<sup>17</sup> Também chamada função de produção Leontief.

Trazendo todos os termos que contém  $X$  para o lado esquerdo, o resultado será o sistema de equações representado pela equação (32).

$$\begin{cases} (1-a_{11})X_1 - a_{12}X_2 - a_{1n}X_n = Y_1 \\ a_{21}X_1 - (1-a_{22})X_2 - a_{2n}X_n = Y_2 \\ a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - (1-a_{nn})X_n = Y_n \end{cases} \quad (32)$$

O procedimento de voltar a um sistema de equações foi feito para dar melhor clareza a respeito das manipulações realizadas. Na equação (33) foi reescrito a equação (32) na forma matricial,

$$(I - A)X = Y \quad (33)$$

Onde, a matriz  $A$  é a matriz de coeficientes técnicos, também conhecida como matriz tecnológica e que define os requerimentos de insumos por unidade de produto de cada setor, já a matriz  $I$ , por sua vez, é uma matriz identidade.

Para analisar os efeitos de choques na demanda ( $Y$ ) no valor bruto de produção é necessário isolar  $X$ . Dessa forma a equação final do modelo básico de insumo-produto é a equação (34). Repare que para haver solução única  $(I - A)^{-1}$  tem que ser singular.

$$X = B \times Y \quad (34)$$

Onde,  $B = (I - A)^{-1}$  é a inversa de Leontief.

Quando se incorpora as emissões de CO<sub>2</sub> na equação (36), torna-se possível escrever a equação (35),

$$E = e \times B \times Y \quad (35)$$

onde,  $E$  representa um vetor de emissões de CO<sub>2</sub> totais por setor, já o  $e$  mostra a intensidade de emissão por produto para cada setor. O vetor  $e$  é calculado dividindo o total de emissão de CO<sub>2</sub> setorial pelo nível de produto setorial, matematicamente  $e = E_i / X_i$ . Esta equação (35)

este trabalho se diferencia de Arbex e Perobelli (2009) ao incorporar um vetor de intensidade de emissões e não de intensidade energética.

### 3.1.3 A integração dos modelos

O modelo de insumo-produto apresentado na seção 3.1.2 é um modelo básico. Todo o seu desenvolvimento leva a uma equação final que depende de um nível de demanda final, para determinar, dado todos os efeitos multiplicadores intra-setoriais, um novo nível de valor bruto de produção. O problema é como determinar esse novo nível de demanda final. Isso poderia ocorrer com base na montagem de cenários, modelos econométricos de previsão ou no caso deste trabalho um modelo macroeconômico de determinação de produto.

Um importante passo na integração de um modelo de insumo-produto, por natureza Keynesiano e voltado para os agregados de demanda, com um modelo de crescimento neoclássico voltado para a oferta, é mostrar aonde estas duas formas de pensar em economia se encontram.

Na seção 3.1.2. foi apresentado um modelo de insumo-produto padrão, juntamente com o Quadro 2 cuja função foi exemplificar uma matriz de insumo-produto. Pelo lado da demanda, o valor bruto de produção é determinado da seguinte forma:

$$X_{it} = x_{i1t} + x_{i2t} + \dots + x_{imt} + Y_{it}, \quad i = 1, \dots, m. \quad (36)$$

onde,  $Y_{it} = C_{it} + G_{it} + I_{it} + E_{it}$ , ou seja, o valor bruto de produção do setor  $i$ , em uma economia com  $m$  setores, é igual às transações do setor  $i$  com outros setores acrescido da demanda final. Sendo que a demanda final é o somatório do consumo das famílias, gasto do governo, investimento e exportações do setor  $i$ .

Pelo lado da oferta, o valor bruto de produção é determinado pela equação (37),

$$X_{jt} = x_{1jt} + x_{2jt} + \dots + x_{mjt} + W_{jt} + OV_{jt} \quad (37)$$

onde,  $x_{jit}$  é valor monetário dos insumos adquiridos pelo setor  $j$  do setor  $i$ ,  $W_{jt}$  e  $OV_{jt}$  são os salários e outros pagamentos feitos pelo setor  $j$ , respectivamente.

Logo não importa se pelo lado da demanda ou oferta, o valor bruto de produção do setor  $i$  será o mesmo. Matematicamente é o mesmo que dizer  $X_{it} = X_{jt}$ , sempre que  $i = j$ , ou ainda,

$$X_t = \sum_{i=1}^m x_{it} + W_t + OV_t \quad (38)$$

$$X_t = \sum_{j=1}^m x_{jt} + C_t + I_t + G_t + NE_t \quad (39)$$

As equações (38) e (39) expressam que a soma da última linha (equação 38) e última coluna (equação 39) do Quadro 2 resultam em um mesmo valor. Dizendo de outra forma, a soma das compras entre setores e do montante pago pelos fatores de produção ( $W_t$  e  $OV_t$ ) é igual a soma das vendas entre setores e do consumo agregado ( $C_t$ ), investimento agregado ( $I_t$ ), gasto do governo ( $G_t$ ) e exportações líquidas ( $NE_t$ ).

Igualando as equações (38) e (39) é possível determinar que,

$$W_t + OV_t = C_t + I_t + G_t + NE_t. \quad (40)$$

A equação (40) mostra uma identidade em que a oferta agregada da economia é igual a demanda agregada. Logo é possível concluir que aquele nível de produto ( $Y_t = \sum_{i=1}^m Y_{it}$ ) da economia no tempo  $t$ , determinado como o somatório do produto setorial, por um modelo macroeconômico na seção 3.2.1, é igual a demanda agregada, ou demanda final, da economia. Essa conclusão mostra que é possível integrar os dois modelos em um só modelo de previsão de emissão de dióxido de carbono.

Resumidamente os dois modelos serão integrados de forma que o nível de emissão de dióxido de carbono setorial é determinado por:

$$E = e(I - A)^{-1} \underset{\underset{1}{Y}}{Y} \quad (41)$$

A equação (41) sintetiza a integração dos modelos insumo-produto e macroeconômico. O produto da economia ( $Y$ ) será determinado de acordo com a taxa de crescimento balanceado da economia, resultante da equação (27) da seção 3.1.1. Obtido o valor de  $Y$ , utiliza-se a matriz de coeficientes técnicos ( $A$ ) e o vetor de emissão por produto,

ambos para o ano de 2005, para projetar as emissões totais setoriais ( $E$ ). É importante ressaltar que ao utilizar a estrutura de produção da matriz de insumo produto de 2005, estar-se-á assumindo também, que a economia está em steady-state neste ano, e a partir daí, o produto crescerá com base em uma taxa de crescimento balanceado de longo prazo, logo, continuará em steady-state. A discussão de velocidade de convergência não será tratada nesta dissertação.

### 3.2 Base de Dados

Essa seção busca indicar as fontes das bases de dados utilizadas. Já na subseção 3.2.1 foi feita uma análise exploratória da base de dados com o objetivo de gerar informações que permitam ajudar na interpretação dos resultados.

Para calibragem do modelo macroeconômico foram utilizados: dados das matrizes de insumo-produto brasileira de 1990 a 2005, consumo energético do Balanço Energético Nacional (BEN), projeção demográfica brasileira da ONU e dados de projeção de consumo energético do IPCC. As matrizes insumo-produto têm diferentes fontes, dependendo do ano ao qual se referem. As matrizes anuais para os anos de 1990 a 1996 são estimadas pelo IBGE e contemplam 43 setores produtivos, já aquelas para os anos de 2000 e 2005 estimadas pela mesma instituição possuem 55 setores produtivos. As matrizes para os anos de 1997, 1998, 1999, 2001, 2002 e 2003 foram estimadas por Guilhoto e Sesso Filho (2004) e a de 2004 foi estimada por Haddad e Perobelli (2004), ambos possuem 42 setores produtivos. O fato de utilizar matrizes de diferentes fontes no período não é um problema, pois, todas elas estão consistentes com as contas nacionais divulgada pelo IBGE.

Importante ressaltar também que as matrizes insumo-produto de 1990-2004 foram utilizadas somente para a calibragem dos parâmetros do modelo macroeconômico. Logo, a informação fornecida pelas matrizes refere-se somente a participação de cada fator de produção no total produzido, isto impede que a mudança feita pelo IBGE na estrutura de cálculo das contas nacionais, em 2007, se torne um problema ao modelo.

Os dados para consumo de energia renovável e não renovável, foram obtidos no Balanço Energético Nacional (2008) publicado pelo Ministério de Minas e Energia. Estes dados estão disponíveis para 18 setores produtivos.

As matrizes insumo-produto, tanto estimadas pelo IBGE quanto por Guilhoto e Sesso Filho (2004), estão a preços básicos e correntes, logo foram deflacionados utilizando o deflator implícito do PIB estimado pelo IBGE, com base no ano de 2005.

A projeção de crescimento da população disponibilizada pela ONU (2009) é utilizada como *proxy* para oferta de trabalho, já as projeções de variação na utilização de fontes renováveis e não renováveis fornecidas pelo IPCC (2009) são *proxy* para taxa brasileira de substituição de consumo entre combustíveis.

Os dados da ONU (2009) são referentes ao Brasil e foram divididos em modelo sem cenário (média variante), cenário A1 (baixa variante) e cenário A2 (alta variante). Na alta variante a fecundidade média é 0,5 crianças acima da variante média, cuja fecundidade é 1,85 crianças por mulher, ou seja, na variante alta a fecundidade é de 2,35 crianças por mulher. Na baixa variante a fecundidade é 0,5 crianças abaixo da variante média, ou uma fecundidade de 1,35 crianças por mulher.

Utilizar uma taxa média de crescimento da população brasileira implica que a oferta de trabalho varia igualmente em todos os setores, ou seja, a participação de cada setor no emprego permanece constante no período de projeção. Como a estrutura base para projeção é a matriz insumo-produto de 2005 estar-se-á considerando também que o equilíbrio setorial de oferta e demanda de mão-de-obra não será alterado no tempo<sup>18</sup>.

Os dados de IPCC (2009) são para o mundo, logo foram adaptados como *proxy* para o Brasil. Foi utilizada uma taxa média decenal de variação na utilização de recursos renováveis e não renováveis. Foram usados dois cenários do IPCC, em um deles é intensificado o uso de recursos renováveis (cenário A1) e no outro intensifica-se o uso de recursos não renováveis (cenário A2). No geral os dados do IPCC implicaram em: no cenário A1 a cada dez anos intensifica-se o uso de recursos renováveis em 32% e o de não renováveis em 7,4%, já no cenário A2 o uso de recursos renováveis é 25,15% maior e o de não renováveis 18,96%.

No que tange ao modelo de insumo-produto estendido para emissões setoriais, utiliza-se a matriz insumo-produto de 2005, a mesma utilizada na calibragem do modelo macroeconômico, e acrescentam-se os dados de emissão brasileira de CO<sub>2</sub> setorial. Estes últimos são fornecidos pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Ministério de Minas e Energia, por meio do Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final<sup>19</sup>. Os dados de

---

<sup>18</sup> Para flexibilizar este pressuposto do modelo, basta endogeneizar a taxa de emprego setorial, estimando a equação de equilíbrio entre oferta e demanda de mão-de-obra.

<sup>19</sup> Importante ressaltar que há diversas formas de emissão de dióxido de carbono, algumas delas interligadas a processo industriais, outras a mudança no uso da terra e florestas, logo é importante destacar que tipo de emissões foram tratadas neste trabalho. As emissões ao qual este trabalho se refere são aquelas ligadas ao

emissão estão disponíveis em gigagrama para o período de 1970-2006. A agregação setorial dos dados de emissões é a mesma utilizada no BEN. A tabela de emissões é construída a partir da tabela de uso de energia setorial do BEN, logo algumas formas de emissão como: queima de florestas, criação de bovinos, entre outros; não foram consideradas.

Para fins de construção do modelo surge a necessidade de compatibilizar estes dados, a fim de que, todos tenham uma mesma agregação setorial. Nesse sentido os dados, após transformação, terão uma desagregação setorial de 12 setores produtivos (anexos 7.2 e 7.3). Para esta compatibilização utilizou-se como base Arbex e Perobelli (2009).

### 3.2.1 Análise descritiva da base de dados

Esta seção de análise do banco de dados objetiva gerar informações que facilitem a compreensão dos resultados, logo para tanto, serão priorizadas análises como: setores mais poluidores, participação setorial no produto total da economia, taxa média de crescimento das emissões setoriais e cálculo de intensidade de poluição por produto setorial.

O Gráfico 4 mostra a participação dos setores nas emissões totais brasileiras, para o ano de 2005, por meio deste é possível inferir que: a) o setor de transporte é o maior poluidor; b) os demais setores com níveis de poluição acima da média de 30.521 Gg/ano, em ordem decrescente, são: ferro e aço, alimentos e bebidas e outros setores; c) os oito setores restantes respondem por participação nas emissões brasileiras abaixo da média; d) as emissões brasileiras são concentradas em pouco setores; e) destaque para setores como comércio e serviços e indústria têxtil que possuem participação expressiva no produto (Gráfico 5) e pouca participação nas emissões.

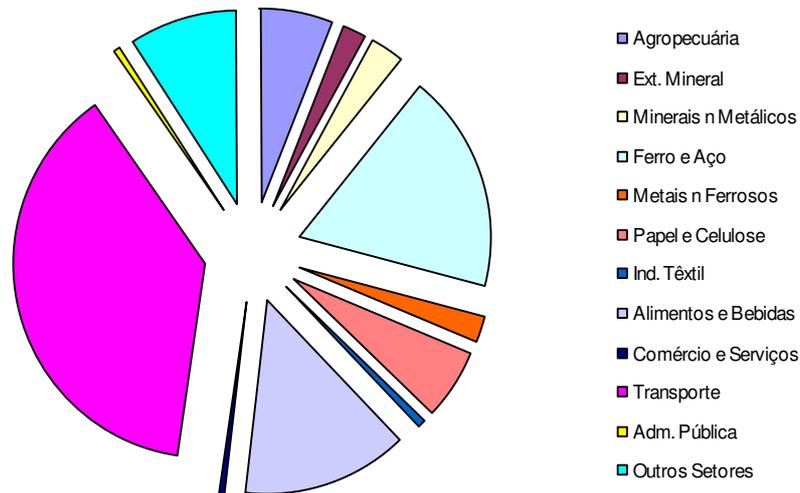
O Gráfico 5 busca contrapor os dados do Gráfico 4, com dados de participação dos setores no produto total da economia. Do gráfico 5 é possível inferir que: a) o produto da economia é menos concentrado, setorialmente, que as emissões; b) os setores com maiores participações são, em ordem decrescente, comércio e serviços, administração pública, outros setores, alimentos e bebidas e agropecuária; c) os setores de transporte, ferro e aço e papel e celulose aparecem como setores com alto nível de poluição (Gráfico 4), porém não se destacam com elevada participação no produto; d) já os setores de comércio e serviços, outros

---

processo de produção dos 12 setores produtivos, foram desconsideradas as emissões causadas pela mudança no uso da terra e florestas. E de acordo com MCT (2009) 77% das emissões brasileiras são devido a mudança no uso da terra e florestas o restante está ligado aos processos industriais.

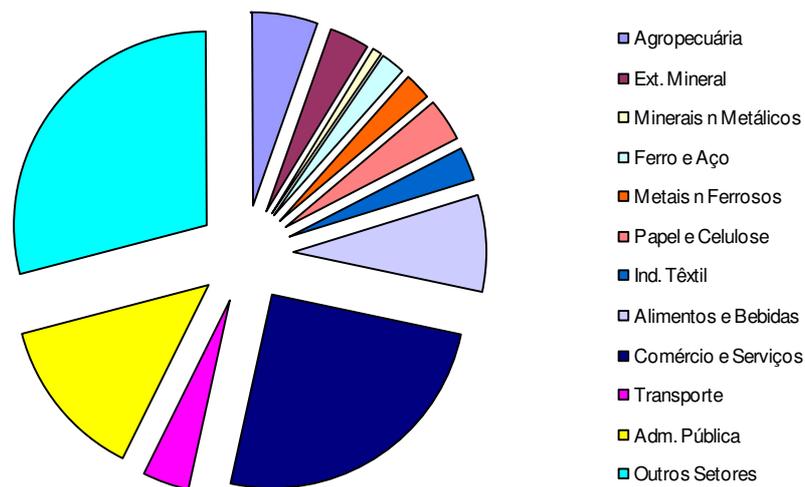
setores e administração pública são os três maiores setores em participação no produto, mas possuem pequena participação nas emissões.

**Gráfico 4 Participação dos setores econômicos nas emissões brasileiras (2005).**



Fonte: Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final e IBGE.

**Gráfico 5 Participação dos setores econômicos na produção total brasileira (2005).**

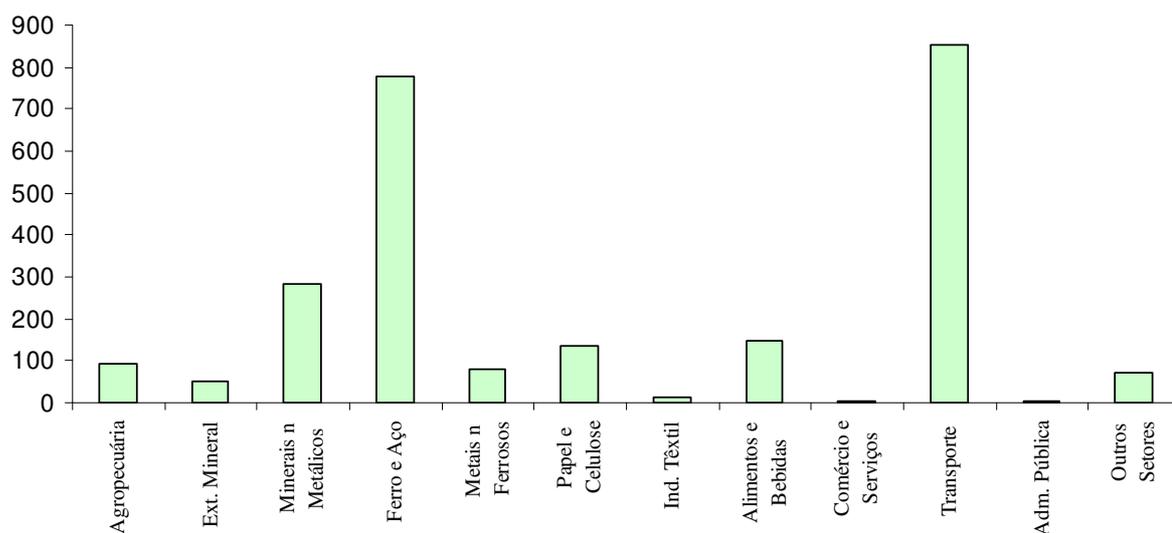


Fonte: Matriz Insumo-Produto IBGE (2005).

No que tange à intensidade de emissões setoriais, representada no Gráfico 6, por meio do quociente entre emissões setoriais e produto setorial, é possível afirmar que: a) os setores de transporte e ferro e aço são altamente intensivos em emissão; b) estes dois setores são

seguidos por, em ordem decrescente, minerais não metálicos, alimentos e bebidas e agropecuária; c) os setores de comércio e serviços, administração pública e outros setores são os menos intensivos em emissão.

**Gráfico 6 Quociente de Emissão setorial por valor bruto de produção (2005).**



Fonte: Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final e IBGE

A análise da variação temporal do quociente de emissão por valor bruto de produção, para o período de 1970 a 2006 (anexo 7.4), mostra, inicialmente, uma tendência de aumento nas emissões para um mesmo nível de produção, com queda nos períodos de 1980 a 1984 e, mais recentemente de 2001 a 2006. É possível dizer então, que nestes dois períodos foi possível produzir poluindo menos. Desagregando estes dados setorialmente (anexo 7.5) os resultados são: i) os setores de extrativa mineral, ferro e aço, papel e celulose, química, têxtil, comércio e serviços e administração pública são semelhantes no sentido de que atingiram um pico de taxa de emissão e desde então esta taxa vem se reduzindo, ii) os setores de minerais não metálicos, metais não ferrosos e alimentos e bebidas mostram tendência de aumento contínuo na taxa de emissões, detalhe que estes setores responderam por 19% das emissões brasileiras, em 2005. Tal análise já foi realizada em Torvanger (1991) e Ang e Pandiyan (1997), e no geral os autores encontraram uma tendência recente de queda nas taxas de emissões por produto em diversos países.

A taxa de crescimento média das emissões setoriais, de 1990 a 2005 (anexo 7.6), mostra que: a) o setor de administração pública possui a maior taxa de crescimento nas emissões (12,4% ao ano), mas vale ressaltar que a quantidade de emissão deste setor é muito

baixa, logo o aumento nas emissões anuais não é tão expressivo; b) os demais setores com maiores taxas são, em ordem decrescente, extrativa mineral (7,5 %), alimentos e bebidas (5,3%), papel e celulose (5,1%), metais não ferrosos (4,6%), transportes (3,4%), e ferro e aço (2,6%); c) os setores têxtil (-2,3%) e comércio e serviços (-0,3%) são os únicos cuja taxa média indica redução de emissões no decorrer do tempo; e d) os setores de alimentos e bebidas, transporte, papel e celulose, metais não ferrosos, e ferro e aço além de possuírem alta taxa de crescimento médio de emissões são também detentores de altas parcelas nas emissões brasileiras, logo são setores preocupantes do ponto de vista de emissão de poluentes.

### 3.2.2 Parâmetros calibrados

O objetivo desta seção foi apresentar os resultados encontrados para os dados de calibragem do modelo macroeconômico. A Tabela 3 mostra os parâmetros calibrados. Os parâmetros alfa, beta, kappa e epsilon representam a participação no produto do capital, trabalho, energia renovável, e energia não renovável, respectivamente. É interessante notar que os setores de transportes e minerais não metálicos têm alta participação do fator energia não renovável no produto, e os setores de alimentos e bebidas e administração pública tem alta participação do fator trabalho. Ainda é possível identificar que: os setores de comércio e serviços e têxtil tem alta participação do fator trabalho; os setores que mais fazem uso de energia renovável são: minerais não metálicos, ferro e aço, metais não ferrosos e extrativa mineral; os setores de minerais não metálicos, papel e celulose e ferro e aço, e principalmente transportes, têm maior participação de energia não renovável no produto, relativamente aos outros setores.

Ainda na Tabela 3 a coluna de taxa de crescimento do componente tecnológico mostra dois pressupostos utilizado neste trabalho. Um deles foi extrapolar para todos os setores a taxa de progresso tecnológico brasileiro de 3% ao ano. Este valor representa a taxa média de progresso tecnológico brasileiro, encontrada via utilização das matrizes insumo-produto disponíveis. E o segundo diz respeito a taxa de variação na oferta de trabalho, prevista pela ONU e igual a 0,9% ao ano, também extrapolada para todos os setores.

**Tabela 3 Parâmetros Calibrados.**

	Setores	Alpha (Capital)	Beta (trabalho)	Kappa (En. Renovável)	Epsilon (En. Não Renovável)	Taxa de variação na Oferta de Trabalho (gLi)	Taxa de variação tecnológica (gAi)
1	Agropecuária	0,068	0,842	0,013	0,077	0,009	0,030
2	Ext. Mineral	0,004	0,733	0,122	0,141	0,009	0,030
3	Minerais n Metálicos	0,006	0,224	0,315	0,455	0,009	0,030
4	Ferro e Aço	0,008	0,591	0,185	0,217	0,009	0,030
5	Metais n Ferrosos	0,168	0,605	0,158	0,069	0,009	0,030
6	Papel e Celulose	0,009	0,670	0,110	0,211	0,009	0,030
7	Ind. Têxtil	0,001	0,910	0,025	0,064	0,009	0,030
8	Alimentos e Bebidas	0,001	0,968	0,017	0,015	0,009	0,030
9	Comércio e Serviços	0,013	0,890	0,038	0,058	0,009	0,030
10	Transporte	0,006	0,577	0,017	0,401	0,009	0,030
11	Adm. Pública	0,002	0,955	0,028	0,015	0,009	0,030
12	Outros Setores	0,495	0,399	0,058	0,048	0,009	0,030

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

A Tabela 4 mostra a taxa de crescimento de *steady state* para cada setor. No geral a tabela indica que: a) dada taxa de participação de cada setor no produto na economia em 2005 a taxa de crescimento de *steady state* da economia seria de 3,75%<sup>20</sup>; b) os setores: outros, metais não ferrosos, alimentos e bebidas, administração pública e comércio e serviços têm taxa de crescimento próxima de 3% ao ano e superior aos demais; c) os setores de transportes e minerais não metálicos têm menor taxa de crescimento, isso ocorre principalmente por se tratar de um setor intensivo no uso de energia não renovável, fator este que entra subtraindo na equação de taxa de crescimento (equação 29).

**Tabela 4 Taxa de Crescimento do Produto Setorial.**

	Setores	gYi
1	Agropecuária	0,024
2	Ext. Mineral	0,026
3	Minerais n Metálicos	0,014
4	Ferro e Aço	0,023
5	Metais n Ferrosos	0,035
6	Papel e Celulose	0,022
7	Ind. Têxtil	0,028
8	Alimentos e Bebidas	0,030
9	Comércio e Serviços	0,029
10	Transporte	0,012
11	Adm. Pública	0,030
12	Outros Setores	0,057

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

<sup>20</sup> Bugarin (2003) representa a economia brasileira em um modelo de equilíbrio geral recursivo, objetivando avaliar os resultados de *steady state*. O resultado para o produto agregado indica taxa de crescimento de 4% ao ano. Oreiro et al. (2005) calibram um modelo macroeconômico neoclássico e outro keynesiano objetivando encontrar a taxa de crescimento do produto potencial brasileiro. Os resultados indicam que a taxa de crescimento potencial, encontrada via modelo neoclássico, é de 4,66% ao ano.

Uma questão importante é definir quais variáveis do modelo macro-econômico prevalecem nos resultados. É bom lembrar, que a equação (27), apresentada na seção 3.1.1, mostra que o modelo integrado possui dois mecanismos de promoção de crescimento (tecnologia e consumo de energéticos renováveis) e dois que reduzem a taxa de crescimento (taxa de crescimento populacional e consumo de energéticos não renováveis). Os resultados do modelo mostram que o principal mecanismo indutor da taxa de crescimento setorial é a tecnologia, sendo que, em média este fator determina 3,3% da taxa. Por outro lado a principal variável que reduz a taxa de crescimento setorial é o consumo de energéticos não renováveis.

## 4 RESULTADOS

O capítulo de resultados foi dividido em 3 seções. A primeira seção mostra os resultados de projeção do produto e emissões tanto globais (seção 4.1.1) quanto setoriais (seção 4.2.2). A segunda descreve os resultados dos exercícios feitos para análise de sensibilidade do modelo a diferentes cenários. Esta também foi subdividida em outras duas subseções, com objetivo de separar dois possíveis cenários. E a terceira introduz uma análise crítica aos resultados do modelo integrado, objetivando avaliar o ajuste.

### 4.1 Resultados Do Modelo Sem Cenários

#### 4.1.1 Resultados globais

A Tabela 5 mostra as projeções globais para a demanda final<sup>21</sup> e emissões. Desta tabela é possível verificar que: a) a taxa de crescimento da demanda final varia entre 3,75% e 3,94% no período de 2006 a 2015. Isso ocorre por que cada setor tem sua própria taxa de crescimento, e aqueles que possuem altas taxas aumentam sua participação no produto total levando, no decorrer do tempo, a maior influência destes setores na variação do produto; b) se comparado o nível da demanda final e das emissões, de 2005 com o de 2015, verifica-se que houve variação de 46% e 33%, respectivamente; e c) é possível perceber que o total de emissões e demanda final tendem a crescer a taxas semelhantes<sup>22</sup>.

O Gráfico 7 busca mostrar a trajetória tanto dos dados referente ao período de 1990 a 2005, quanto daqueles projetados pelo modelo de 2006 a 2015. Verifica-se que existe uma tendência de crescimento das variáveis em todo o período, e no período projetado a taxa de crescimento segue trajetória semelhante aos períodos anteriores.

---

<sup>21</sup> Importante lembrar que o componente de demanda final do modelo de insumo-produto representa um somatório dos agregados macroeconômicos de consumo das famílias e governo, investimento e exportações.

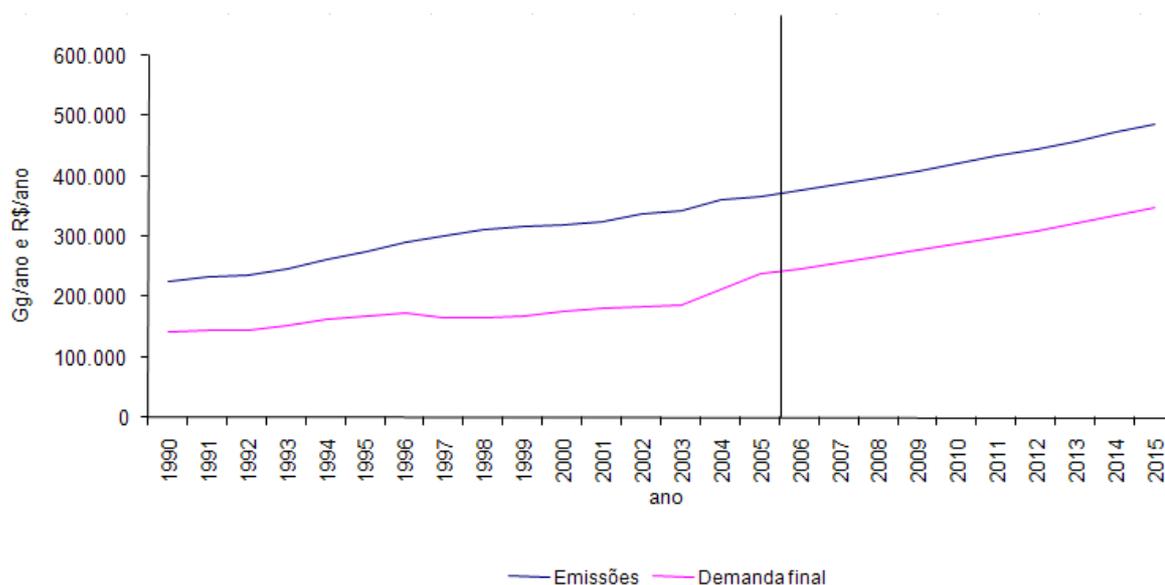
<sup>22</sup> A variação de emissões e produto em taxas semelhantes ocorre por que: pressuposto do modelo de manter a inversa de Leontief e taxa de emissões por produto de 2005 para todos os anos previstos e pelo fato, já evidenciado na seção 1.1. e gráfico 1, que mostra semelhanças nas taxas de crescimento econômico e de emissões.

**Tabela 5 Projeção de PIB e Emissões Globais<sup>23</sup>**

	<b>Demanda Final Projetada (R\$)</b>	<b>Taxa de crescimento (%)</b>	<b>Total de Emissões (Gg/ano)</b>	<b>Taxa de crescimento (%)</b>
<b>2005</b>	2.394.601.000	-	366.248	-
<b>2006</b>	2.484.506.336	3,75	376.447	2,78
<b>2007</b>	2.578.278.132	3,77	386.997	2,80
<b>2008</b>	2.676.103.192	3,79	397.915	2,82
<b>2009</b>	2.778.178.135	3,81	409.214	2,84
<b>2010</b>	2.884.709.949	3,83	420.911	2,86
<b>2011</b>	2.995.916.555	3,86	433.024	2,88
<b>2012</b>	3.112.027.426	3,88	445.568	2,90
<b>2013</b>	3.233.284.221	3,90	458.564	2,92
<b>2014</b>	3.359.941.473	3,92	472.030	2,94
<b>2015</b>	3.492.267.300	3,94	485.986	2,96

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Obs: tabela com valores de demanda final e emissões de 1990 a 2015 em anexo 7.7.

**Gráfico 7 Evolução da demanda final e emissões brasileiras, para o período 1990 a 2015.**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Obs: Emissões em Gg/ano e PIB a preços de 2005 em 10<sup>6</sup> R\$.

<sup>23</sup> A construção do modelo integrado prioriza um modelo com taxa de crescimento do produto e emissões setorial, logo para encontrar os resultados globais foi feito o procedimento de somar os resultados setoriais.

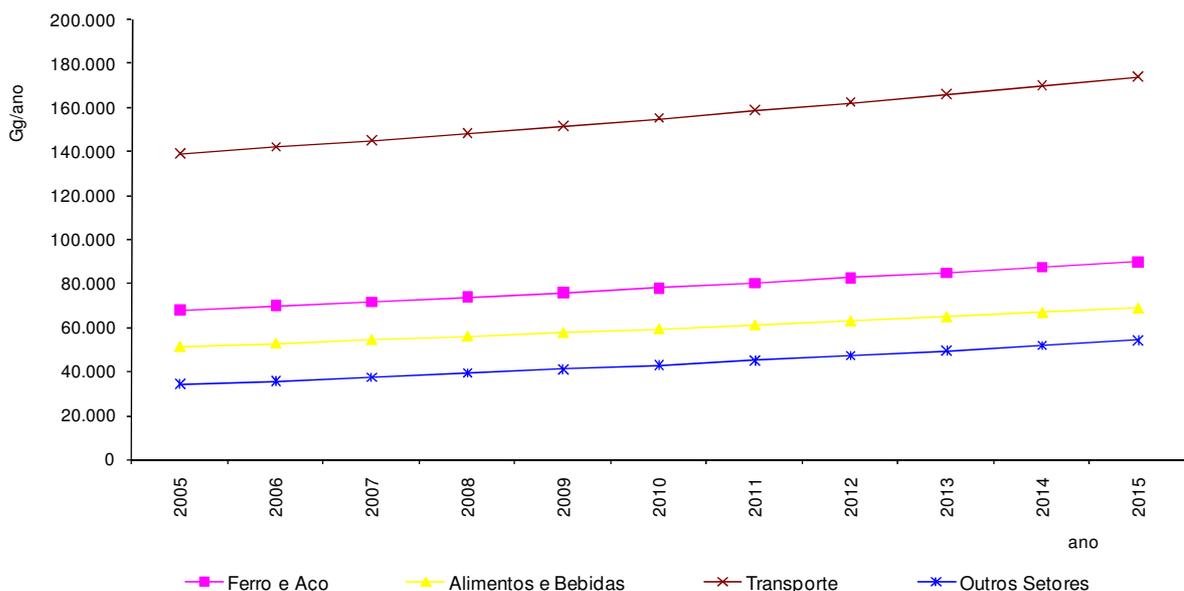
#### 4.1.2 Resultados setoriais

Os resultados setoriais estão distribuídos nos Gráficos 8, 9 e Tabela 6. Os gráficos objetivam mostrar como no geral os setores foram afetados pelo crescimento do produto e a Tabela compara as emissões e o produto setorial de 2005 com os dados projetados para 2015.

Para mostrar a projeção das emissões setoriais graficamente, foi utilizado um procedimento de separar os setores mais poluentes dos setores menos poluentes, em dois gráficos distintos. Foram definidos setores que mais poluem e menos poluem de acordo com os dados de emissões de 2005, onde, se estes ultrapassarem o valor médio de emissões no mesmo ano, encontrado na seção 3.2.1, são considerados muito poluidores, do contrário são setores pouco poluidores. Os gráficos 8 e 9 apresentam os resultados já separados por grupos de setores.

O Gráfico 8 indica que: o setor de transportes continuará sendo o maior emissor de CO<sub>2</sub> durante o período analisado; o setor de alimentos e bebidas e ferro e aço apresentam trajetória de crescimento semelhante; já o setor outros setores tem trajetória de crescimento superior aos demais, refletindo no aumento da participação deste setor nas emissões brasileiras.

**Gráfico 8 Grupo 1 – Projeção de emissão (2006-2015) para os setores que poluíram acima de 30.521 Gg/ano no ano de 2005.**

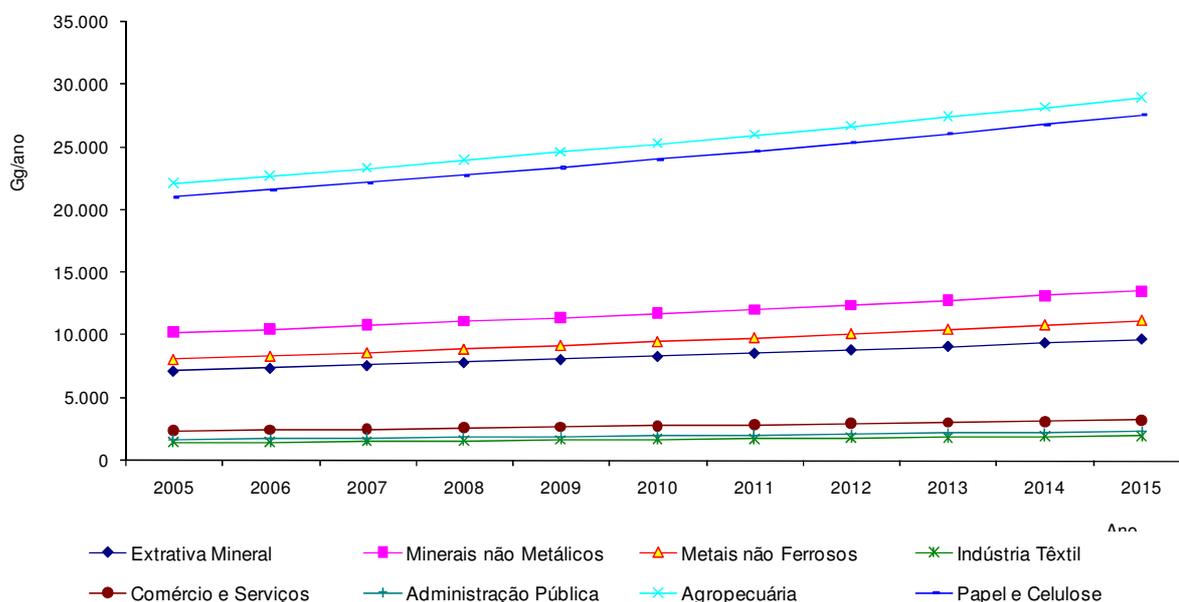


Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Desperta atenção no gráfico 8 a trajetória de crescimento nas emissões do setor de transportes, sendo que para este foi encontrado uma taxa de crescimento balanceado do produto, apresentada na seção 3.2.2, inferior aos demais setores. . A explicação para este fato é que o setor de transportes possui uma estreita relação de demanda intermediária com os outros setores, logo o crescimento dos outros setores implica em maiores requerimentos do setor de transportes causando uma expansão tanto do valor bruto de produção quanto das emissões do mesmo.

O Gráfico 9 por sua vez mostra o segundo grupo de setores, ou, setores cuja emissão em 2005 é inferior à média setorial do ano. É possível verificar que: o setor de agropecuária lidera os demais no período; verifica-se que existem três grupos de setores, dentre eles, os setores que mais poluem são agropecuária e papel e celulose, os intermediários são minerais não metálicos, metais não ferrosos e extrativa mineral e aqueles que menos poluem são os setores de comércio e serviços, administração pública e indústria têxtil.

**Gráfico 9 Grupo 2 - Projeção de emissão (2006-2015) para os setores que poluíram menos que 30.521 Gg/ano no ano de 2005.**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

A Tabela 6 mostra os dados de 2005 e os projetados para 2015, com o objetivo de comparar as mudanças no período. Analisando o produto setorial, verifica-se que: todos os setores à exceção de outros setores perdem participação no período, entretanto as variações são por muitas vezes pouco expressiva. O setor de outros setores aumenta sua participação no

período de 29,4% para 35,8%. O fator predominante para este efeito é o nível de capital que o setor emprega (verificado na tabela 3 da seção 3.2.2). Importante lembrar que quanto maior a participação do capital no produto menor a participação dos demais fatores (retornos constantes de escala) e conseqüentemente, de acordo com a equação (27) da seção 3.1.1, maior é o efeito da tecnologia no crescimento do produto.

Os setores que mais se destacam com queda de participação são: comércio e serviços (de 26% para 23,8%) e administração pública (de 19,8% para 18,4%). Os dados de emissões indicam que: apesar da participação no produto do setor de outros setores ter aumentado 6 p.p a participação nas emissões do mesmo setor aumentou somente 2 p.p, este é reflexo do baixo coeficiente de emissão do setor; a participação das emissões do setor de transporte não teve queda tanto quanto ocorreu no produto, fato já explicado como sendo conseqüência dos altos requerimentos por parte dos demais setores deste setor; no geral todos os setores aumentarão suas emissões no período; considerando que o valor de emissões setoriais médio em 2015 foi de 40.500 Gg/ano, somente os seguintes setores tiveram emissões acima da média: ferro e aço, alimentos e bebidas e transporte, sendo que estes mesmos três setores concentrarão 68% das emissões totais em 2015, em detrimento de 70,44% em 2005.

**Tabela 6 Projeções setoriais para os períodos 2005 e 2015.**

SETORES	2005				2015			
	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)
Agropecuária	86.763.922	3,62	22.103	6,03	110.164.368	3,15	28.977	5,96
Extrativa Mineral	35.359.150	1,48	7.166	1,96	45.710.235	1,31	9.677	1,99
Minerais não Metálicos	4.864.904	0,20	10.220	2,79	5.575.631	0,16	13.552	2,79
Ferro e Aço	23.315.181	0,97	67.718	18,49	29.350.613	0,84	89.848	18,49
Metais não Ferrosos	29.753.990	1,24	8.105	2,21	42.335.250	1,21	11.185	2,30
Papel e Celulose	35.023.925	1,46	21.048	5,75	43.796.779	1,25	27.594	5,68
Indústria Têxtil	77.963.920	3,26	1.496	0,41	103.060.040	2,95	1.982	0,41
Alimentos e Bebidas	229.272.037	9,57	51.426	14,04	309.644.232	8,87	68.954	14,19
Comércio e Serviços	624.575.093	26,08	2.425	0,66	832.082.555	23,83	3.268	0,67
Transporte	68.498.282	2,86	138.850	37,91	77.459.424	2,22	174.137	35,83
Administração Pública	474.670.393	19,82	1.723	0,47	642.161.009	18,39	2.359	0,49
Outros Setores	704.540.203	29,42	33.968	9,27	1.250.927.162	35,82	54.455	11,20
<b>Total</b>	<b>2.394.601.000</b>	<b>100</b>	<b>366.248</b>	<b>100</b>	<b>3.492.267.300</b>	<b>100</b>	<b>485.986</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Obs: tabela completa com resultados setoriais por ano nos anexos 7.8 e 7.9.

### 4.1.3 Conclusões

Esta seção objetiva ressaltar as principais conclusões a respeito dos resultados da seção 4.1. Os principais pontos são: a) os resultados do modelo macroeconômico implicam

em uma taxa de crescimento da economia de tal forma que, no período de 2005 a 2015, a demanda final crescerá 46% e as emissões 33%; b) os dados de taxa de crescimento anual (anexos 7.8 e 7.9) também revelam uma tendência de emissões e produto crescerem a taxas semelhantes; c) no geral todos os setores aumentarão suas emissões no período; d) como visto na seção 3.2.1 as emissões setoriais têm alta concentração em poucos setores, e as projeções indicam que essa tendência permanece até 2015, quando três setores concentrarão 68% das emissões; e) o setor de transporte possui uma importante ligação com os demais setores, via demanda intermediária, de tal forma que, mesmo com a baixa taxa de crescimento do setor, as emissões aumentarão consideravelmente no período, permitindo ao setor manter sua liderança no que diz respeito a emissões.

## 4.2 Análises de Sensibilidade do Modelo a Diferentes Cenários

Para fazer as análises de sensibilidade do modelo a diferentes cenários, recorreu-se a metodologia de montagem de cenários utilizada nos trabalhos do IPCC (2000).

A construção de cenários do IPCC (2000) procura incorporar: possibilidades de mudanças nas variáveis de interesse do modelo e os resultados encontrados na literatura de emissões. É excluído dos cenários aqueles efeitos “surpresas” ou “desastres” por serem eventos incertos e de difícil mensuração. As variáveis mais utilizadas na construção dos cenários são: políticas governamentais, alterações demográficas, assim como sociais e econômicas, mudanças tecnológicas, ou no uso de recursos.

O IPCC (2000) considera uma variedade de 40 possíveis cenários, cada um destes dentro de quatro grandes grupos, denominados cenários do tipo: A1, A2, B1 e B2.

A família de cenários do tipo A1 descreve um futuro mundial com rápido crescimento econômico, população mundial crescente até 2050 e decrescente posteriormente, rápida introdução de novos e mais eficientes tecnologias e convergência mundial de renda. Dentro dos cenários do tipo A1 ainda são encontrados três grandes grupos chamados de A1F1, A1T e A1B, que representam cenários de uso predominante de fontes de energia: fóssil, renovável e balanceado, respectivamente. Os cenários do tipo A2 representam um mundo mais heterogêneo, com crescimento contínuo da população global e crescimento econômico e desenvolvimento tecnológico com menores taxas de crescimento do que no A1.

Já a família de cenários do tipo B1 têm: dinâmica da população igual ao cenário do tipo A1, rápidas alterações na estrutura econômica principalmente no que se refere a ganho de

participação dos setores de serviços e tecnologia de informação e introdução de fontes energéticas mais eficiente e limpa. Os cenários do tipo B2 se diferenciam do B1 na medida em que: a taxa de crescimento populacional é crescente, porém, menor do que em A2 e alterações na estrutura econômica não acontecem tão rápido quanto o cenário B1. Logo é possível identificar que os cenários do tipo 1 são mais otimistas que os cenários do tipo 2 e que os cenários do tipo A estão mais ligados à convergência de renda e substituição entre fontes energéticas, enquanto os do tipo B a alterações na estrutura econômica. Dada dificuldade de implementar alterações na estrutura econômica dentro do modelo integrado insumo-produto e macroeconômico, serão implementados apenas cenários A1 e A2.

Assim nos cenários do tipo A1 considera-se maior substituição de fontes não renováveis por renováveis e menor taxa de crescimento populacional, já nos cenários do tipo A2 serão combinados maior utilização de fontes não renováveis, em detrimento das fontes renováveis, e alta taxa de crescimento populacional<sup>24</sup>.

Objetivando separar os dois tipos de cenários a seção será dividida em duas subseções, onde na primeira é apresentado os resultados para o cenário A1 e na segunda o cenário A2.

#### 4.2.1 Resultados para o cenário A1

A Tabela 7 mostra as taxas de crescimento setorial, resultado da equação (27) do modelo macroeconômico. Em uma das colunas não foi utilizado cenário e na outra fez-se uso do cenário A1. O objetivo é comparar as taxas de crescimento do produto setorial em ambos os casos. É importante lembrar que o cenário A1 representa maior utilização de fontes renováveis e menor taxa de crescimento da população.

A taxa de variação nos fatores energia renovável e trabalho são diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente, à taxa de crescimento do produto (equação 27). Logo o resultado final indica que a maior utilização de fontes renováveis e menor taxa de crescimento na oferta de trabalho implicam em maior taxa de crescimento no produto. Esta afirmação é corroborada pelo resultado da última linha da tabela 7, ao verificar que dado a estrutura de participação dos setores na economia de 2005, a taxa de crescimento do modelo é superior quando considerado o cenário A1.

---

<sup>24</sup> Como nos cenários do tipo B são incorporadas mudanças estruturais na economia e este tipo de mudança não é possível ser implementado no modelo integrado macroeconômico e insumo-produto foram construídos cenários do tipo A1 e A2.

Os resultados mostram que: todos os setores, a exceção do agropecuário e transportes, tiveram aumento na sua taxa de crescimento e a imposição do cenário A1 não implica em grandes variações nas emissões setoriais. É importante destacar que, como já dito na seção 3.1.1 e 3.2.2, a principal variável promotora de crescimento neste modelo é tecnologia (ou produtividade dos fatores), e para construção dos cenários não foram feitas alterações neste vetor. Logo, é esperado que as mudanças no nível de emissões sejam pontuais tanto no cenário A1 quanto no A2.

A redução na taxa de crescimento dos setores de agropecuária e transporte se deve ao fato destes setores serem muito mais dependentes de energia não renovável do que os demais, isso faz com que mesmo aplicando uma taxa de utilização de energia renovável maior que a de energia não renovável, os efeitos desta última prevalecem.

**Tabela 7 Resultado do modelo macroeconômico de taxa de crescimento do produto setorial.**

Setores	Projeção Original	Cenário A1
Agropecuária	2,39%	2,37%
Extrativa Mineral	2,57%	2,68%
Minerais não Metálicos	1,36%	1,56%
Ferro e Aço	2,30%	2,45%
Metais não Ferrosos	3,53%	3,73%
Papel e Celulose	2,24%	2,32%
Indústria Têxtil	2,79%	2,84%
Alimentos e Bebidas	3,01%	3,06%
Comércio e Serviços	2,87%	2,93%
Transporte	1,23%	1,18%
Administração Pública	3,02%	3,09%
Outros Setores	5,74%	5,99%
Taxa de Crescimento (2005)	3,75%	3,79%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

A Tabela 8 mostra os resultados de projeção para demanda final e emissão setorial com cenário A1, juntamente com os resultados do modelo original para fins de comparação. No geral, as emissões brasileiras projetadas para 2015 aumentaram de 485.857 Gg/ano no modelo original para 487.009 Gg/ano no modelo com cenário A1, ou 0,24%. O principal setor que contribuiu para redução foi o setor de transporte. Já os setores de ferro e aço e metais não ferrosos colaboram, em maior proporção que os demais, para o aumento das emissões, no cenário A1.

A Tabela 8 mostrou que o setor de transportes tem participação nas emissões totais em 2005 de 37,91%, e as projeções para 2015 (tabela 8) indicam que essa participação será reduzida para um nível de 35,83% no modelo original ou 35,73% no modelo com cenário A1.

De forma geral, é possível inferir que as mudanças a nível setorial são pequenas, sendo que, os setores de comércio e serviços, alimentos e bebidas, papel e celulose, minerais não metálicos, extrativa mineral e administração pública praticamente não alteram sua participação nas emissões brasileiras quando comparado o modelo sem cenário com o modelo do cenário A1.

**Tabela 8 Tabela comparativa entre projeção original e projeção com cenário A1.**

SETORES	Projeção Original para 2015				Projeção com Cenário A1 para 2015			
	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)
Agropecuária	161.006.091	3,74	28.977	5,96	109.717.862	3,13	28.956	5,95
Extrativa Mineral	87.233.794	2,03	9.677	1,99	46.058.346	1,31	9.717	2,00
Minerais não Metálicos	8.354.846	0,19	13.552	2,79	5.677.548	0,16	13.611	2,79
Ferro e Aço	62.145.347	1,44	89.848	18,49	29.688.713	0,85	90.362	18,55
Metais não Ferrosos	58.838.657	1,37	11.185	2,30	42.930.201	1,22	11.260	2,31
Papel e Celulose	54.276.610	1,26	27.594	5,68	44.038.135	1,26	27.665	5,68
Indústria Têxtil	142.681.600	3,32	1.982	0,41	103.157.787	2,94	1.984	0,41
Alimentos e Bebidas	888.258.546	20,65	68.954	14,19	309.997.614	8,84	69.023	14,17
Comércio e Serviços	831.202.995	19,32	3.268	0,67	833.897.416	23,78	3.275	0,67
Transporte	62.076.449	1,44	174.137	35,83	77.054.261	2,20	174.020	35,73
Administração Pública	583.469.109	13,56	2.359	0,49	643.465.371	18,35	2.364	0,49
Outros Setores	1.362.564.630	31,67	54.455	11,20	1.260.646.327	35,95	54.773	11,25
<b>Total</b>	<b>4.302.108.675</b>	<b>100</b>	<b>485.986</b>	<b>100</b>	<b>3.506.329.581</b>	<b>100</b>	<b>487.009</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Obs: tabela completa com resultados setoriais por ano nos anexos 7.10 e 7.11.

A emissão projetada para 2015 do setor de ferro e aço no modelo original é de 89.848 Gg/ano, e no modelo com cenário A1 90.362 Gg/ano. O aumento nas emissões deste setor se deve tanto ao aumento na taxa de crescimento do próprio setor, verificada na tabela 7, quanto ao aumento na taxa de crescimento dos outros setores, que leva a uma maior demanda por bens do setor de ferro e aço. O mesmo ocorre com o setor de metais não ferrosos cuja emissão passa de 11.185 Gg/ano no modelo sem cenário para 11.260 Gg/ano quando considerado cenário A1.

#### 4.2.2 Resultados para o cenário A2

Para construção do cenário A2 considera-se alta taxa de crescimento da oferta de trabalho e uso mais intensivo de energia não renovável. Os efeitos destas alterações, de acordo com a equação (27), determinam que, no geral, a taxa de crescimento será reduzida.

A Tabela 9 mostra as taxas de crescimento de *steady state* para cada setor. Por meio da tabela é possível identificar que a maioria dos setores apresentou taxas de crescimento

reduzidas no cenário A2 em comparação com a projeção original e cenário A1. Destaque para os setores mais afetados pela imposição do cenário A2, são eles: transportes, minerais não metálicos, agropecuário e papel e celulose; as taxas destes setores reduziram em 0,32 p.p, 0,22 p.p, 0,14 p.p e 0,11 p.p, respectivamente. Isto se deve ao fato de que estes setores são os mais intensivos em uso de energia não renovável, logo, o aumento no consumo deste energético, imposto pelo cenário A2, prevaleceu sobre os resultados.

**Tabela 9 Resultado do modelo macroeconômico de taxa de crescimento do produto setorial.**

Setores	Projeção Original	Cenário A1	Cenário A2
Agropecuária	2,39%	2,37%	2,25%
Extrativa Mineral	2,57%	2,68%	2,54%
Minerais não Metálicos	1,36%	1,56%	1,14%
Ferro e Aço	2,30%	2,45%	2,23%
Metais não Ferrosos	3,53%	3,73%	3,61%
Papel e Celulose	2,24%	2,32%	2,13%
Indústria Têxtil	2,79%	2,84%	2,79%
Alimentos e Bebidas	3,01%	3,06%	3,05%
Comércio e Serviços	2,87%	2,93%	2,88%
Transporte	1,23%	1,18%	0,91%
Administração Pública	3,02%	3,09%	3,07%
Outros Setores	5,74%	5,99%	5,88%
Taxa de Crescimento (2005)	3,75%	3,79%	3,72%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

A taxa de crescimento geral da economia no cenário A2, quando considerado a estrutura de participação dos setores no produto de 2005, é de 3,72% ao ano. Taxa menor do que a encontrada na projeção original e no cenário A1.

A Tabela 10 mostra os efeitos das novas taxas de crescimento no produto e emissão setorial. Como esperado o produto em 2015 será 0,34% inferior no modelo com cenário A2 em comparação aos resultados do modelo original e as emissões passam de 485,986 Gg/ano para 481.138 Gg/ano, ou decréscimo de 1% no total.

Comparando os resultados setoriais do cenário A2 com aqueles do modelo original, é possível inferir que: no geral há queda nas emissões de todos os setores; os setores de transportes, papel e celulose, agropecuária e minerais não metálicos foram os mais afetados nesta ordem; detalhe para o setor de papel e celulose, cujas emissões foram reduzidas em 282 Gg/ano, contribui para isso a maior influência da queda na produção dos demais setores sobre o de papel e celulose.

**Tabela 10 Tabela comparativa entre projeção original e projeção com cenário A2.**

SETORES	Projeção Original para 2015				Projeção com Cenário A2 para 2015			
	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)	Demanda Final (R\$)	Participação (%)	Emissões (Gg/ano)	Participação (%)
Agropecuária	110.164.368	3,15	28.977	5,96	108.420.521	3,12	28.706	5,97
Extrativa Mineral	45.710.235	1,31	9.677	1,99	45.432.757	1,31	9.618	2,00
Minerais não Metálicos	5.575.631	0,16	13.552	2,79	5.447.390	0,16	13.435	2,79
Ferro e Aço	29.350.613	0,84	89.848	18,49	29.070.101	0,84	89.241	18,55
Metais não Ferrosos	42.335.250	1,21	11.185	2,30	42.402.174	1,22	11.144	2,32
Papel e Celulose	43.796.779	1,25	27.594	5,68	43.255.630	1,24	27.312	5,68
Indústria Têxtil	103.060.040	2,95	1.982	0,41	102.638.205	2,95	1.973	0,41
Alimentos e Bebidas	309.644.232	8,87	68.954	14,19	309.505.660	8,89	68.726	14,28
Comércio e Serviços	832.082.555	23,83	3.268	0,67	829.527.803	23,83	3.248	0,67
Transporte	77.459.424	2,22	174.137	35,83	75.018.828	2,16	171.160	35,57
Administração Pública	642.161.009	18,39	2.359	0,49	642.173.743	18,45	2.355	0,49
Outros Setores	1.250.927.162	35,82	54.455	11,20	1.247.552.765	35,84	54.222	11,27
<b>Total</b>	<b>3.492.267.300</b>	<b>100</b>	<b>485.986</b>	<b>100</b>	<b>3.480.445.577</b>	<b>100</b>	<b>481.138</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

Obs: tabela completa com resultados setoriais por ano nos anexos 7.12 e 7.13.

### 4.3 Avaliando o Ajuste do Modelo aos Dados

O objetivo desta seção é avaliar a performance dos resultados gerado pelo modelo integrado, principalmente avaliar a qualidade do ajuste do modelo aos dados. Este deve ser feito por meio do Quadro 3 e Tabela 11. No quadro 3 estão descritos os dados de emissão global e taxa de crescimento de 1990 a 2005, assim como, a taxa de variação das emissões brasileiras projetada pela Instituição Americana *United States Energy Information Administration* (EIA) ligada ao departamento de energia norte americano e a projeção resultante do modelo integrado. A tabela 11, por sua vez, faz uma análise comparativa entre as taxas médias de emissão, entre os períodos de 1990 a 2005 e 2006 a 2015.

As projeções da EIA apontam para uma taxa de crescimento das emissões que variam de 2% ao ano em 2006 para 2,32% ao ano em 2015. Aplicando estas taxas às emissões de 2005 é possível identificar que as emissões em 2015 seriam de 454.038 Gg/ano, em vista que, as emissões projetadas pelo modelo integrado seriam de 485.986 Gg/ano, no mesmo período. A diferença nas duas projeções apresentadas, para o resultado de 2015, é de 7%. Importante ressaltar a proximidade entre as duas taxas estimadas.

A taxa de variação das emissões no período de 1990 a 2005 está entre 0,65% em 2000 e 6,14% em 1994. O intervalo entre a menor e a maior taxa torna difícil comparar a trajetória real das emissões com a projetada. A Tabela 11 facilita esta interpretação avaliando a tendência, por meio das taxas médias de cada período. Sendo assim de 1990 a 2005 as emissões brasileiras aumentaram na média 3,28% ao ano, já no período de projeção (2006-2015) as emissões aumentam 2,17% e 2,87% quando considerados os resultados da EIA e do

modelo integrado, respectivamente. Importante ressaltar a proximidade entre a taxa projetada pelo modelo integrado e a tendência das emissões no período anterior a projeção.

**Quadro 3 Comparando os Resultados de Projeção**

Ano	Emissão Gg/ano	Taxa (%)	Emissão Gg/ano	Taxa (%)
1990	226.299	-	-	-
1991	233.614	3,23	-	-
1992	236.469	1,22	-	-
1993	247.984	4,87	-	-
1994	263.220	6,14	-	-
1995	276.232	4,94	-	-
1996	290.477	5,16	-	-
1997	302.111	4,00	-	-
1998	311.665	3,16	-	-
1999	318.209	2,10	-	-
2000	320.273	0,65	-	-
2001	325.463	1,62	-	-
2002	337.072	3,57	-	-
2003	342.431	1,59	-	-
2004	360.974	5,42	-	-
2005	366.248	1,46	-	-
2006	373.573	2,00	376.447	2,78
2007	381.045	2,00	386.997	2,80
2008	389.047	2,10	397.915	2,82
2009	397.217	2,10	409.214	2,84
2010	405.955	2,20	420.911	2,86
2011	414.886	2,20	433.024	2,88
2012	424.014	2,20	445.568	2,90
2013	433.766	2,30	458.564	2,92
2014	443.743	2,30	472.030	2,94
2015	454.038	2,32	485.986	2,96

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

**Tabela 11 Tabela comparativa de taxas média de emissão.**

Taxa Média de variação (1990-2005)	3,28
Taxa Média prevista pela EIA de variação (2006-2015)	2,17
Taxa Média prevista pelo Modelo Integrado de variação (2006-2015)	2,87

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

A importância dos estudos setoriais em emissões de dióxido de carbono advém da possibilidade de ser priorizada ações em setores chave no que diz respeito a degradação ambiental. A idéia é que os objetivos ambientais, dada toda a importância do meio ambiente, devem estar integrados a todas as políticas de todos os ministérios relevantes incluindo finanças, economia e comércio e reflexões sobre todas as decisões de produção e consumo.

Os resultados do modelo integrado indicaram uma taxa de crescimento de *steady state* para o produto setorial brasileiro variando entre 1,2% e 5,7% ao ano dependendo do setor. Parte considerável da taxa de crescimento encontrada foi devido ao aumento na produtividade total dos fatores, ou componente tecnológico. No sentido oposto, o fator que mais influencia a redução na taxa de crescimento é o consumo de energia não renovável.

Foi importante comparar as previsões com a variação nas emissões passadas e com as previstas pela EIA, para avaliação da qualidade do modelo. No tocante a estes resultados o modelo mostra bons resultados.

Os resultados indicam que no geral a taxa de variação nas emissões de todos os setores será positiva e há uma tendência de produto e emissões variar a taxas semelhantes. A concentração das emissões em poucos setores permanece no período analisado. Ou seja, o panorama de crescimento do produto setorial implicou em uma dinâmica semelhante à taxa de emissões.

A construção dos cenários A1 e A2 alcançou seu objetivo de extrapolar possibilidades para variáveis chave do modelo macroeconômico. Cada setor reagiu de uma forma à imposição dos cenários, permitindo que mesmo em um cenário de maior crescimento econômico como o cenário A1, alguns setores obtivessem menores taxas de crescimento, ou o contrário, em um cenário de menor crescimento como o A2, alguns setores aumentassem sua taxa de crescimento. Outro objetivo atingido com a imposição dos cenários foi mostrar a robustez do modelo integrado, já que a imposição de variações no uso de energéticos e na taxa de crescimento populacional determinou resultados condizentes com os pressupostos.

Os resultados mostram, para o ano de 2015, haverá pequena alteração positiva nas emissões quando comparado o modelo sem cenário e cenário A1. As mudanças na oferta de trabalho e na taxa de uso de renováveis do cenário A1, provocaram redução nas emissões dos setores de agropecuária e transporte e aumento nas emissões dos setores de ferro e aço e

metais não ferrosos. Com relação a configuração setorial das emissões brasileiras no período é possível concluir que não houve grandes alterações.

Já no modelo com cenário A2 as emissões brasileiras projetadas para 2015 serão inferiores àquela projetada no modelo sem cenário. Os efeitos setoriais indicam queda nas emissões de todos os setores em especial: transportes, minerais não metálicos, agropecuária e papel e celulose.

Uma importante conclusão a respeito dos cenários, é que os setores de transportes e agropecuária são os mais sensíveis a alterações na oferta de trabalho e taxa de uso de fontes renováveis e não renováveis. Ao mesmo tempo estes são importantes setores no que diz respeito a emissões brasileiras, pois concentram parte considerável desta. Logo, estas informações se revelam importantes na formulação de políticas setoriais de mitigação.

O resultado da exposição deste e outros trabalhos introduzem oportunidades para propor mudanças nas políticas de tratamento de questões ambientais chave e promoção de desenvolvimento sustentável.

Algumas limitações deste trabalho são: utiliza uma taxa de crescimento de *steady state*, logo não incorpora “surpresas” como, por exemplo, crises econômicas e de infraestrutura, projeta-se somente as emissões ligadas a setores produtivos, deixando de fora as emissões devidas à mudança no uso da terra e de florestas e trata-se de um modelo integrado logo incorpora as limitações dos dois modelos que o precedem.

Do modelo macroeconômico incorpora pressupostos fortes como: concorrência perfeita em todos os mercados, perfeita substituição entre fatores de produção e limitações na descrição da tecnologia. Já do modelo de insumo-produto incorpora: coeficientes técnicos, que determinam a tecnologia, fixos; retornos constantes de escala; impossibilidade de substituição entre insumos produtivos; coeficiente de emissão por produto fixo; e não soluciona as melhores respostas de todos os agentes da economia dinamicamente e sim assumi-se que os agentes estão agindo otimamente em 2005 e extrapola-se estes resultados para o período de projeção.

As vantagens na utilização destes dois modelos integrados são: consistência advinda da incorporação de um choque macro-fundamentado na estrutura de insumo-produto, evitando os choques aleatórios; incorporação dos efeitos multiplicadores na economia do modelo de insumo-produto não presente no modelo macroeconômico; capacidade de obtenção de resultados setoriais e globais. De forma geral a integração dos dois modelos mostra ser uma importante forma de solucionar os problemas na utilização destes em separado.

Uma forma de flexibilizar alguns destes pressupostos seria a construção de um modelo de equilíbrio geral para a economia brasileira, com abertura para emissões de CO<sub>2</sub> tanto setoriais, quanto residenciais, e por mudança no uso da terra e florestas. A aplicação deste tipo de modelo abre diversas possibilidades dentre elas: modelagem de políticas de mitigação, maiores possibilidades de formulação para o componente tecnológico, possibilidade de incorporação dos efeitos recíprocos entre emissões e crescimento econômico, mensurar danos difíceis de precificar como aqueles a saúde humana, a biodiversidade, entre outros.

## 6 REFERÊNCIAL

ADAMS, R, M. HURD, B. H. LENHART , S. LEARY, N. Effects of Global Climate Change on Agriculture: An Interpretative Review. **Climate Research**, v. 11, p. 19–30, 1998.

AFSEN, K. H. Environmental Economics Based on General Equilibrium Models: the Norwegian Experience. **Swiss Journal of Economics and Statistics**, v. 127, n. 2, p. 225–243, 1991.

ANG, B. W. PANDIYAN, G. Decomposition of energy-induced CO<sub>2</sub> emissions in manufacturing. **Energy Economics**, v. 19, p. 363-374, 1997.

ANSUATEGI, A. ESCAPA, M. Economic Growth and Greenhouse Gas Emission. **Ecological Economics**, v. 40, p. 23–37, 2002.

ARBEX, M. PEROBELLI, F. S. Solow Meets Leontief: Economic Growth e Energy Consumption. **Energy Economics**, doi:10.1016/j.eneco.2009.05.004, 2009.

ARROW, K. BOLIN, B. COSTANZA, R. DASGUPTA, P. FOLKE, C. HOLLING, C.S. JANSSON, B. LEVIN, S. MALER, K. PERRINGS, C. PIMENTEL, D. Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. **Ecological Economics**, v.15, p. 91-95, 1995.

BAETHGEN, W. E. Vulnerability of the Agricultural Sector of Latin America to Climate Change. **Climate Research**, v. 9, p. 1-7, 1997.

BARBIER, E. B. Endogenous Growth and Natural Resource Scarcity. **Environmental and Resource Economics**, v. 14, p. 51–74, 1999.

BEGHIN, J. DESSUS, S. ROLAND-HOLST, D. VAN DER MENSBRUGGHE, D. **General Equilibrium Modelling of Trade and the Environment**. Paris: OECD, Development Centre, (Technical Paper, 116), 1996.

BERGMAN, L. Energy and Environmental Constraints on Growth: a CGE Modeling Approach. **Journal of Policy Modeling**, v. 12, n. 4, p. 671–691, 1990.

BHUTTO, N. A. CAGATAY, S. Controlling Greenhouse Gases Emissions via Natural Gas Substitution: An Input-Output Study for Turkey. In: The intermediate Input-Output Meeting, 2008. **Controlling Greenhouse Gases Emissions via Natural Gas Substitution: An Input-Output Study for Turkey**. Espanha, 2008.

BOHRINGER, C. CONRAD, K. LOSCHEL, A. Carbon Taxes and Joint Implementation: An Applied General Equilibrium Analysis for Germany and India. **Environmental and Resource Economics**, v. 24, p. 49–76, 2003.

BOHRINGER, C. LOSCHEL, A. Computable General Equilibrium Models for Sustainability Impact Assessment: Status quo and Prospects. **Ecological Economics**, v. 60, p. 49–64, 2006.

BOVENBERG, A. L. MOOIJ, R. A. Environmental Tax Reform and Endogenous Growth. **Journal of Public Economics**, v. 63, p. 207-237, 1997.

BOVENBERG, A. L. SMULDERS, S. Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in a Two Sector Endogenous Growth Model. **Journal of Public Economics**, v. 7, p. 369-391, 1995.

BOYD, R. KRUTILLA, K. KRIP VISCUSI, W. Energy Taxation as a Policy Instrument to Reduce CO2 Emissions: A Net Benefit Analysis. **Journal of Environment Economics and Management**, v. 29, p. 1-24, 1995.

BRUSEKE, F. J. **O Problema do Desenvolvimento Sustentável**. IN DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável. Clóvis Cavalcanti (Org.) INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. p. 262. Disponível em: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf> Acesso em: 10 de Abril de 2009.

BUGARIN, M. N. S. ELLERY, R. G. SILVA, V. G. MUIINHOS, M. K. **Steady State Analysis of an Open Economy General Equilibrium Model for Brazil**. Texto para discussão n. 296, Brasília, junho de 2003.

BURNIAUX, J. *et al.* "GREEN - A Multi-Region Dynamic General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO2 Emissions: A Technical Manual", *OECD Economics Department Working Papers*, n. 104, OECD Publishing doi:10.1787/877165867056, 1991.

BURNIAUX, J. M., MARTINS, J. O. **Carbon Emissions Leakages: A General Equilibrium View**. OECD Economics Department Working Paper, n. 242, 2000.

BYRNE, M. M. Is Growth a Dirty Word? Pollution, Abatement and Endogenous Growth. **Journal of Development Economics**, v. 54, p. 261-284, 1997.

CAPROS, P. GEORGAKOPOULOS, T. FILIPPOUPOLITIS, A., KOTSOMITI, S. ATSAVES, G. PROOST, S. VAN REGEMORTER, D. CONRAD, K. SCHMIDT, T.F.N. **The GEM-E3 Model Reference Manual**. National Technical University, Athens, 1998.

CARVALHO, T. S. A Hipótese da Curva de Kuznets Ambiental Global e o Protocolo de Quioto. Juiz de Fora: UFJF, Faculdade de Economia e Administração, 2008. (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, T. S. PEROBELLI, F. S. Avaliação da Intensidade de Emissões de CO2 Setoriais e da Estrutura de Exportações: Um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto São Paulo/Restante do Brasil. **Revista de Economia Aplicada**, v. 13, n.1, p. 99-124, 2009.

CASLER, S. D. ROSE, A. carbon dioxide emissions in the U.S. Economy. **Environmental and resource economics**. n. 11, p.349-363, 1998.

CHANG, Y. F. LIN, S. J. Structural Decomposition of Industrial CO2 Emission in Taiwan: An Input-Output Approach, **Energy Policy**, v.26, n.1, p.5-12, 1998.

CONDOO, D. DINDA, S. Causality Between Income and Emission: A Country Group-Specific Econometric Analysis. **Ecological Economics**, v. 40, p. 351–367, 2002.

CONRAD, K. SCHRÖDER, M.. An Evaluation of Taxes on Air Pollutants Emissions: An Applied General Equilibrium Approach. **Swiss Journal of Economics and Statistics**, v.172, n.2, p. 199-224, 1991.

CORAZZA, R. I. Tecnologia e Meio Ambiente no Debate sobre os Limites do Crescimento: Notas à luz de contribuições selecionadas de Georgescu-Roegen. **Economia**, Brasília, v. 6, n. 2, p.435-461, 2005.

CRUZ, L. BARATA, E. Estrutura Económica, Intensidade Energética e Emissões de CO<sub>2</sub>: Uma abordagem Input-Output. **Estudos do GEMF**, n. 8, 2007.

DALY, H. E. Georgescu-Roegen Versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, p. 261-266, 1997.

DASGUPTA, P. The Place of Nature in Economic Development. **Handbook of Development Economics**, v. 5, 2009.

DE BRUYN, S. M. VAN DEN BERGH, J. C. J. M. OPSCHOOR, J. B. Economic Growth and Emissions: Reconsidering the empirical basis of environmental Kuznets Curves. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 25, p. 161-175, 1998.

DIETZEMBACHER, E. LOS, B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. **Economic Systems Research**, v.10, n. 4, p. 307-323, 1998.

ELBASHA, E. H. ROE, T. L. On Endogenous Growth: The Implications of Environmental Externalities. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 31, p. 240-268, 1996.

ELETROBRÁS. DE. DEEA. **Emissões de Dióxido de Carbono e Metano Pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros: Relatório Final/ Centrais Elétricas Brasileiras S.A., DEEA, DEEA**; coordenado por Luiz Pinguelli Rosa. Rio de Janeiro, ELETROBRÁS, 2000.

FEIJÓ, F. T. AZEVEDO, A. F. Z. Comércio e Meio Ambiente: Políticas Ambientais e Competitividade no Âmbito da ALCA. **Economia Aplicada**, v. 10, n. 4, p. 561-587, 2006.

FONSECA, L. N. RIBEIRO, E. P. Preservação Ambiental e Crescimento Econômico no Brasil. In: VII ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL, 2005. **Preservação Ambiental e Crescimento Econômico no Brasil**. Rio Grande do Sul, 2005.

GARBACCIO, R. F., HO MUN, S., JORGENSON, D. W. **Modeling the Health Benefits of**

**Carbon Emissions Reductions in China.** 2000. Disponível em: <<http://www.hks.harvard.edu/m-rcbg/ptep/china.health.pdf>> Acesso em: 14/06/2009.

GOMES, S. C. BRAGA, M. J. Desenvolvimento Econômico e Desmatamento na Amazônia Legal: Uma Análise Econométrica. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008. **Desenvolvimento Econômico e Desmatamento na Amazônia Legal: Uma Análise Econométrica.** Acre, 2008.

GROSSMAN, G. M. KRUEGER, A. P. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement.** National Bureau of Economics Research Working Paper, No. 3194, NBER, Cambridge, 1991.

GROSSMAN, G. M. KRUEGER, A. P. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995.

GUILHOTO, J. J. M. LOPES, L. R. MOTA, R. S. HASEGAWA, M. M. **Crescimento Econômico e Regional e Meio Ambiente no Brasil, 2002 a 2012.** Texto para Discussão NEREUS, n. 14, 2004.

GUILHOTO, J. J. M. SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Revista de Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2004.

HADDAD, E. A. PEROBELLI, F. S. Relatório de Pesquisa FIPE, 2004.

HALMANN, M. M. STEINBERG, M. **Greenhouse Gas Carbon Dioxide Mitigation.** Flórida: CRC Press LLC , 1999, 568p.

HALICIOGLU, F. An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey. **Energy Policy**, v.37, p.1156–1164, 2009.

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.

HAWDON, D. PEARSON, P. Input-Output Simulations of Energy, Environment, Economy, Interactions in the UK. **Energy Economics**, v. 17, n.1, 1995.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de CO2 Decorrentes do Uso de Gás Natural, Álcool e Derivados do Petróleo no Brasil: Um modelo Inter-regional de Insumo- Produto.** 2004. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

HILGEMBERG, E. M. GUILHOTO, J. J. M. Uso de Combustíveis e Emissões de CO2 no Brasil: um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. **Nova Economia**, v. 16, n.1, p. 49-99. Janeiro-abril de 2006.

HOLTZ-EAKIN, D. SELDEN, T. M. Stoking The Fires? CO2 Emissions and Economic Growth. **Journal of Public Economics**, v. 57, p. 85-101, 1995.

HOEKSTRA, R. JANSSEN, M. A. Environmental Responsibility and Policy in a Two Country Dynamic Input-Output Model. *Economic System Research*, v. 18, n. 1, 2006.

HOEKSTRA, R. VAN DEN BERGH, J.C.J.M. Structural decomposition analysis of physical flows in the economy. *Environmental and resources economics*, n. 23, p.357-378, 2002.

HOWARTH, R. B. An Overlapping Generations Model of Climate-Economy Interactions. *Scandinavian Journal Of Economics*, v.100, n.3, p. 575–591, 1998.

HOWARTH, R.B. NORGARRD, R.B. Environmental Valuation Under Sustainable Development. *American Economic Review*, v. 82, n.2, p.473–477, 1992.

HUANG, C. H. CAI, D. Constant>Returns Endogenous Growth with Pollution Control. *Environmental and Resource Economics*, v. 4, p. 383-400, 1994.

HUDSON, E. A. JOGENSEN, D. W. **Tax Policy and Energy Conservation**. In *Econometric Studies of U.S. Energy Policy* (D. W. Jorgenson, ed.), pp. 9–94. Amsterdam: North-Holland, 1976.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report: Emisison Scenários**. 2000. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> > Acesso em: 28 de setembro de 2009.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007 – Synthesis Report**. 2007. Disponível em: < [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf) > Acesso em: 28 de setembro de 2009.

IPEK TUNÇ, G. I. TÜRÜT-ASIK, S. AKBOSTANCI, E. **CO2 Emissions vs. CO2 Responsibility: An Input-Output Approach for the Turkish Economy**. ERC Working Papers in Economics 06/04, 2006.

JOHANSEN, L. **A Multi-Sectoral Study of Economic Growth**. Amsterdam: North-Holland, 1973.

JORGENSEN, D.W. WILCOXEN, P. J. Intertemporal General Equilibrium Modeling of U.S. Environmental Regulation. *Journal of Policy Modeling*, v.12, n. 4, p. 715–744, 1990.

JORGENSEN, D.W. WILCOXEN, P. J. Reducing U.S. Carbon Dioxide Emissions: the Cost of Different Goals. *Advances in the Economics of Energy and Resources*, v. 7, p. 125–158, 1992.

JORGENSEN, D.W. SLESNICK, D. T. WILCOXEN, P. J. **Carbon Taxes and Economic Welfare**. *Brookings Papers on Economic Activity (Microeconomics)*, 393–454, 1992.

Kyoto Protocol Reference Manual – On Accounting of Emissions and Assigned Amount, 2008. Disponível em: <[http://unfccc.int/resource/docs/publications/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)> Acesso em: 9/07/2009.

KOOPMANS, T.C. On the Concept of Optimal Economic Growth. In: **The Econometric Approach to Development Planning**. North Holland, Amsterdam, 1965.

KUZNETS, S. Economic Growth and Income Inequality. **American Economic Review**. January, v. 45, p. 1-28, 1955.

LENZEN. M. PADE, L. MUNKSGAARD, J. CO2 Multipliers in Multi-region Input-Output Models. **Economic Systems Research**, v. 16, n. 4, 2004.

LEONTIEF, W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: an Input-Output Approach. **The review of economics and statistics**, v. 52, n.3, p.262-271, 1970.

LEONTEF, W. FORD, D. **Air Pollution and Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations**. IN: Input-output Economics, 2 ed. Oxford University Press US, 1986.

LÓPEZ, R. The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 27, p.163-184, 1994.

LUCENA, A. F. P. **Estimativa de uma Curva de Kuznets Ambiental Aplicada ao Uso de Energia e Suas Implicações Para as Emissões de Carbono no Brasil**. 2005. 132f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MACHADO, G. SCHAEFFER, R. WORRELL, E. Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: An Input-Output Approach. **Ecological Economics**, v. 39, p. 409-424, 2001.

MALTHUS, T. R. **Ensaio sobre a população**. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (Os economistas).

MANNE, A.S. MENDELSON, R. RICHEL, R. MERGE — A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies. **Energy Policy**, v. 23, n. 1, p. 17–34, 1995.

MCT. **Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**, 2009. Disponível em: < [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0004/4199.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0004/4199.pdf) > Acesso em: 22/10/2009.

MILLER, R.E e BLAIR, P.D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. New Jersey, Prentice Hall. 1985.

MORAIS, A. F. COSTA, J. S. LOPES, R. L. **Emissões de CO2 na Economia Brasileira: Uma Análise de Decomposição Estrutural Para os Anos de 1990 e 2003**. In. XLIV Congresso da Sober, 2006, Fortaleza. Anais XLIV Congresso da Sober.

NORDHAUS, W. D. **The 'DICE' Model: Background and Structure of a Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming.** Texto para discussão Cowles Foundation, n. 1009, 1992.

NORDHAUS, W.D. YANG, Z. A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies. **American Economic Review**, v. 86, n. 4, p. 741–765, 1996.

OREIRO, J. L. LEMOS, B. P. MISSIO, F. J. PADILHA, R. A. Qual a Taxa Potencial de Crescimento da Economia Brasileira? Uma Análise com Base na Calibragem de dois Modelos Tradicionais de Crescimento Econômico. **Economia**, v. 31, n. 2 (29), p. 35-46, 2005.

PADILLA, E. **Limitations and Biases of Conventional Analysis of Climate Change. Towards an Analysis Coherent With Sustainable Development.** In: Department of Applied Economics at Universitat Autònoma of Barcelona, working papers, n. wp0206, 2002.

PELLEGRINO, G. Q. ASSAD, E. D. MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, n. 8, 2007.

Plano Nacional sobre Mudança do Clima (2008). Governo Federal Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/169/\\_arquivos/169\\_29092008073244.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/169/_arquivos/169_29092008073244.pdf)> Acesso em: 06 de novembro de 2009.

RAMSEY, F. A Mathematical Theory of Saving. **The Economic Journal**, v. 38, p. 543–549, 1928.

REIS, E. J. MARGULIS, S. **Perspectivas Econômicas do Desmatamento da Amazônia.** 1991. Texto para discussão IPEA, n. 215, 1991.

REPETTO, R., MAGRATH, W. B. Wells, M., **Wasting Assets: Natural Resources and the National Income Accounts** Washington, D.C; World Resources Institute; 1989. 68 p.

REY, S.J. Integrated Regional Econometric + Input-Output Modeling: Issues and Opportunities. **Regional Science**, v. 79, n.3, 2000.

ROMER, D. **Advanced Macroeconomics.** Ed. Macgraw-Hill, 1996.

ROSENZWEIG, C. PARRY, M. L. Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. **NATURE**, v. 367, p. 133-138, 1994.

ROSSETI, J. P. **Contabilidade Social.** 7 ed. São Paulo, Atlas, p. 320, 1992.

SANTOS, R. B. N. DINIZ, M. B. DINIZ, M. J. T. RIVERO, S. L. M. OLIVEIRA JUNIOR, J. N. Estimativa da curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E

SOCIOLOGIA RURAL, 2008. **Estimativa da curva de Kuznets Ambiental para Amazônia Legal**. Acre, 2008.

SCARF, H. **The Computation of Economic Equilibria**. New Haven: Yale University Press, 1973.

SCHLESINGER, M. E. JIANG, X. Simple Model Representation of Atmosphere – Ocean GCMs and Estimation of the Timescale of CO<sub>2</sub>- Induced Climate Change. **Journal of Climate**, 1990.

SCHNEIDER, S. H. THOMPSON, S. L. Atmospheric CO<sub>2</sub> and Climate: Importance of the Transient Response. **Journal of Geophysical Research**, v. 86, n. C4, p. 3135-3147, 1981.

SIQUEIRA, O.J.W. STEINMETZ, S. FERREIRA, M. F. COSTA, A. C. WOZNIAK, M. A. Mudanças Climáticas Projetadas Através dos Modelos GISS e Reflexos na Produção Agrícola Brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.

SOLORZANO, R. **Accounts Overdue: Natural Resource Depreciation in Costa Rica** (Washington, DC: World Resources Institute), Washington; World resources institute; 110 p., 1991.

SOLOW, R. M. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. **The Review of Economic Studies**, v. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, p. 29-45, 1974.

SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, 1956.

SOLOW, R. M. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, p. 267-268, 1997.

Official Energy Statistics from the U.S. Government (2009). Energy Information Administration (EIA). Disponível em: < <http://www.eia.doe.gov/environment.html> > Acesso em: 7 de abril de 2009.

STIGLITZ, J. E. Reply Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. **Ecological Economics**, v. 22, p. 269-270, 1997.

STOUFFER, R. J. MANABE, S. BRYAN, K. Inter Hemispheric Asymmetry in Climate Response to a Gradual Increase of Atmospheric CO<sub>2</sub>. **Nature**, v. 342, p. 660-662, 1989.

SUMMERS, R. HESTON, A. The Penn World Table (Mark 5): An Expanded Set of International Comparisons, 1950-1988. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 106, n.2, p. 327-369, 1991.

TOURINHO, O. A. F. MOTTA, R. S. ALVES, Y. B. **Uma Aplicação Ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral**. Texto para discussão n. 976, IPEA, 2003.

- TORVANGER, A. Manufacturing sector carbon dioxide emissions in nine OECD countries, 1973-87. **Energy Economics**, v.13, 168-186, 1991.
- VERDIER, T. Environmental Pollution and Endogenous Growth: A Comparison Between Emission Taxes and Technological Standards. In: **Control and Game – Theoretic Models of the Environment (Annals of the International Society of Dynamic Games Series)**. 1 edição. Birkhäuser Boston, p. 388, 1995.
- VINCENT, J.R., ROSALI, M. A. **Environment and Development in a Resource-Rich Economy: Malaysia Under the New Economic Policy** (Cambridge, MA: Harvard Institute for International Development), p. 420, 1997.
- WAJSMAN, N. The Use of Computable General Equilibrium Models in Evaluating Environmental Policy. **Journal of Environmental Management**, v. 44, p. 127–143, 1995.
- WHALLEY, J. WIGLE, R. Cutting CO2 Emissions: The Effect of Alternative Policy Approaches. **The Energy Journals**, v. 12, n.1, 1992.
- WIEDMANN, T. LENZEN, M. TURNER, K. BARRET, J. Examining the Global Environmental Impact of Regional Consumption Activities — Part 2: Review of Input–Output Models for the Assessment of Environmental Impacts Embodied in Trade. **Ecological Economics**, v. 61, p.15–26, 2007.
- WILLIAM, R. C. **Environmental Tax Interactions When Pollution Affects Health or Productivity**. NBER Working Paper, n. 8049, 2000.
- XIE, J. SALTZMAN, S. Environmental Policy Analysis: An Environmental Computable General-Equilibrium Approach for Developing Countries. **Journal of Policy Modeling**, v. 22, n. 4, p.453-489, 2000.

## 7 ANEXOS

**7.1 Quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> a ser limitada ou reduzida, por país, contida no Anexo B do Protocolo de Kyoto.**

Países do Anexo I	Limitação de emissão ou redução (expressa em relação as emissões totais de gases do efeito estufa de 1990)
Áustria, Bélgica, Bulgária, Dinamarca, República Checa, Estônia, Comunidade Européia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Irlanda, Itália, Letônia, Listenstaine, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Holanda, Portugal, Roménia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Suécia, Suíça, Reino Unido e Nordeste da Irlanda	-8%
Canadá, Hungria, Japão e Polônia	-7%
Croácia	-6%
Nova Zelândia, Rússia e Ucrânia	-5%
Noruega	0%
Austrália	1%
Islândia	8%
	10%

Fonte: Kyoto Protocol Reference Manual (2008).

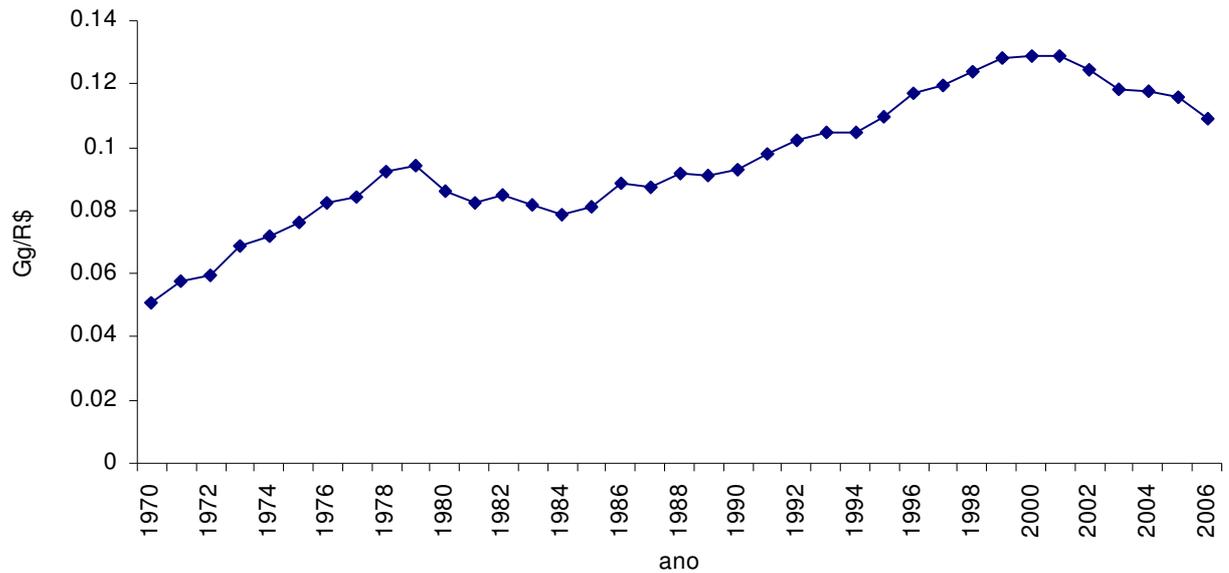
## 7.2 Compatibilização da Matriz IBGE de 55 setores para 12 setores

<b>1 - Agropecuária</b> Agricultura, silvicultura, exploração florestal Pecuária e pesca	Álcool Produtos químicos Fabricação de resina e elastômeros Defensivos agrícolas Perfumaria, higiene e limpeza Tintas, vernizes, esmaltes e lacas Produtos e preparados químicos diversos Cimento Caminhões e ônibus Peças e acessórios para veículos automotores Outros equipamentos de transporte
<b>2 - Mineração e Pelotização</b> Petróleo e gás natural Minério de ferro Outros da indústria extrativa	Móveis e produtos das indústrias diversas Construção Refino de petróleo e coque
<b>3 - Minerais Não Metálicos</b> Outros produtos de minerais não-metálicos	<b>10 - Comércio e Serviços</b> Comércio Serviços de informação Intermediação financeira e seguros Serviços imobiliários e aluguel Serviços de manutenção e reparação Serviços de alojamento e alimentação Serviços prestados às empresas Educação mercantil Saúde mercantil Outros serviços
<b>4 - Ferro e Aço</b> Fabricação de aço e derivados	<b>11 - Transporte</b> Transporte, armazenagem e correio
<b>5 - Minerais Não Ferrosos e Outras Metalurgias</b> Metalurgia de metais não-ferrosos Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	<b>12 - Administração Pública</b> Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana Educação pública Saúde pública Administração pública e seguridade social
<b>6 - Papel e Celulose</b> Celulose e produtos de papel Jornais, revistas, discos Artigos de borracha e plástico	
<b>7 - Alimentos e Bebidas</b> Alimentos e Bebidas	
<b>8 - Têxtil e Vestuário</b> Têxteis Artigos do vestuário e acessórios Artefatos de couro e calçados	
<b>9 - Outros Setores</b> Produtos do fumo Produtos de madeira - exclusive móveis Produtos farmacêuticos Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos Eletrodomésticos Máquinas para escritório e equipamentos de informática Máquinas, aparelhos e materiais elétricos Material eletrônico e equipamentos de comunicações Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico Automóveis, camionetas e utilitários	

## 7.3 Compatibilização dos dados de Emissão e Energia de 18 setores para 12 setores

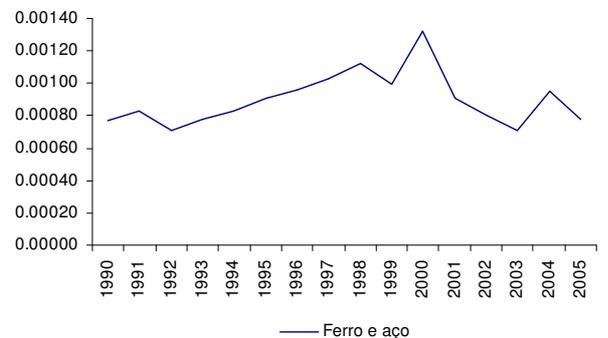
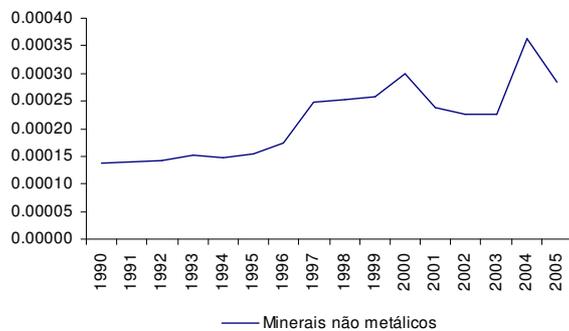
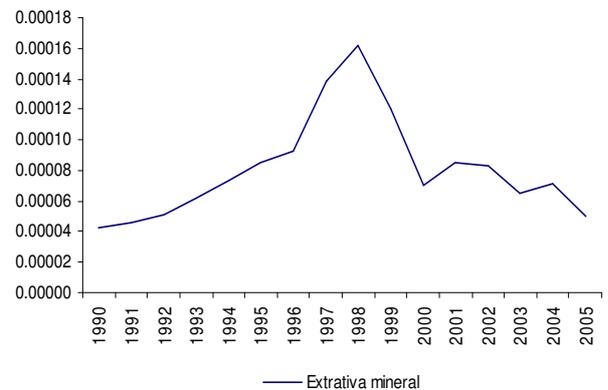
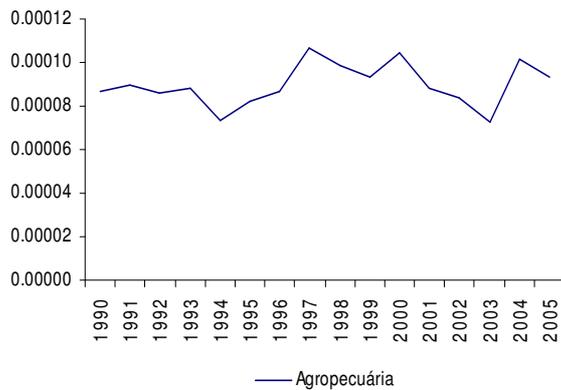
<b>1 - Agropecuária</b> Agropecuária	<b>9 - Outros Setores</b> Outras Indústrias Cimento Química
<b>2 - Extrativa Mineral</b> Mineração e Pelotização	<b>10 - Comércio e Serviços</b> Comercial
<b>3 - Minerais não metálicos</b> Cerâmica	<b>11 - Transportes</b> Transportes Rodoviário Transportes Ferroviário Transportes Aéreo Transportes Hidroviário
<b>4 - Ferro e Aço</b> Ferro Gusa e Aço Ferro Ligas	<b>12 - Administração Pública</b> Público
<b>5 - Met não ferrosos e outros metal</b> Não Ferrosos e outros Metalúrgicos	
<b>6 - Papel e Celulose</b> Papel e Celulose	
<b>7 - Alimentos e Bebidas</b> Alimentos e Bebidas	
<b>8 - Têxtil</b> Têxtil	

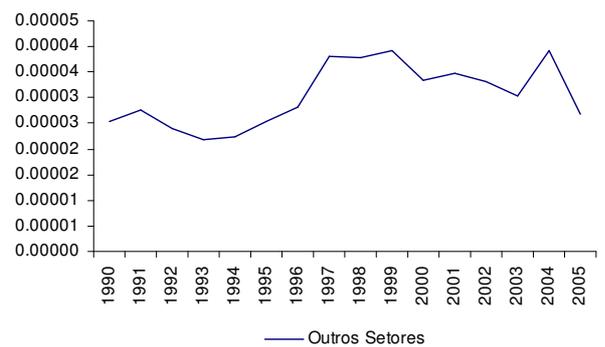
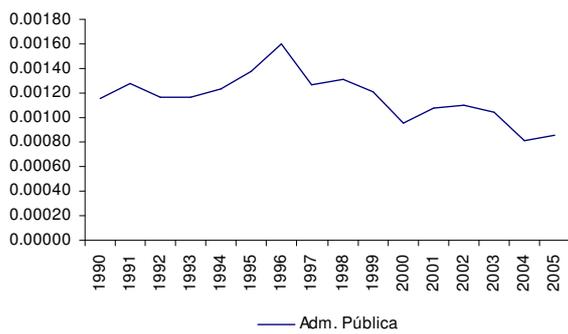
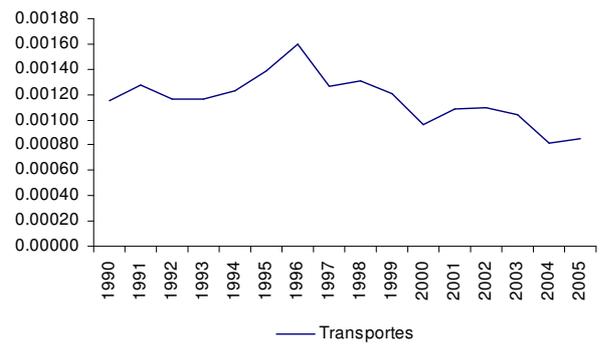
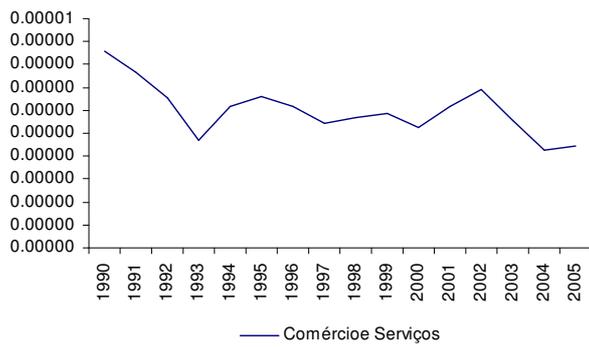
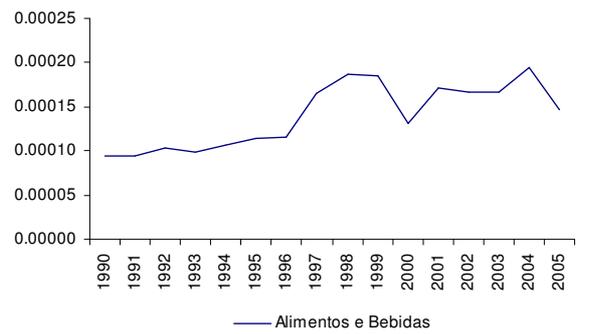
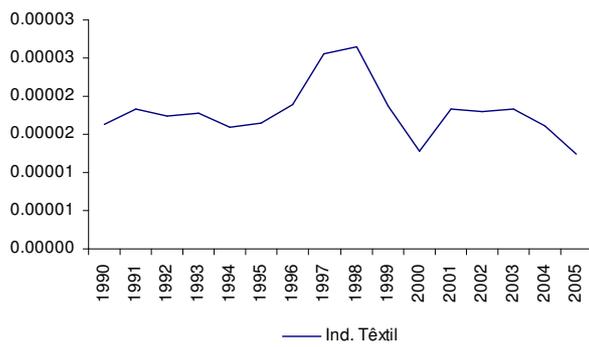
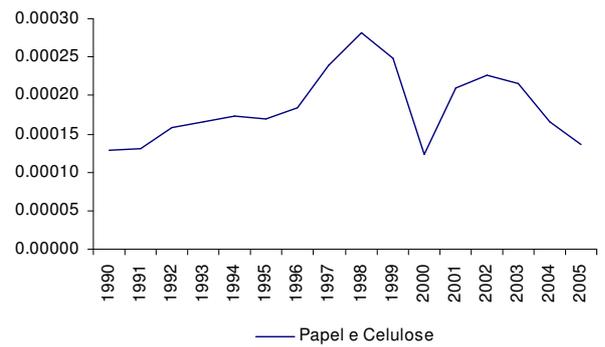
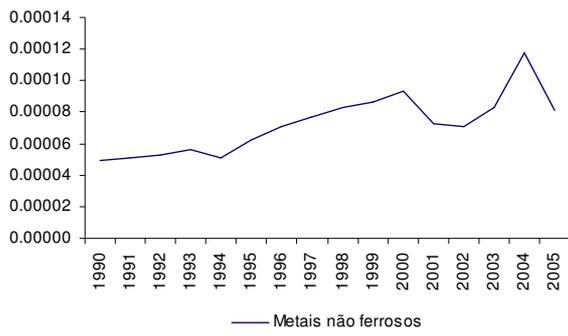
#### 7.4 Evolução do quociente de Emissão por PIB, para o período de 1970 a 2006.



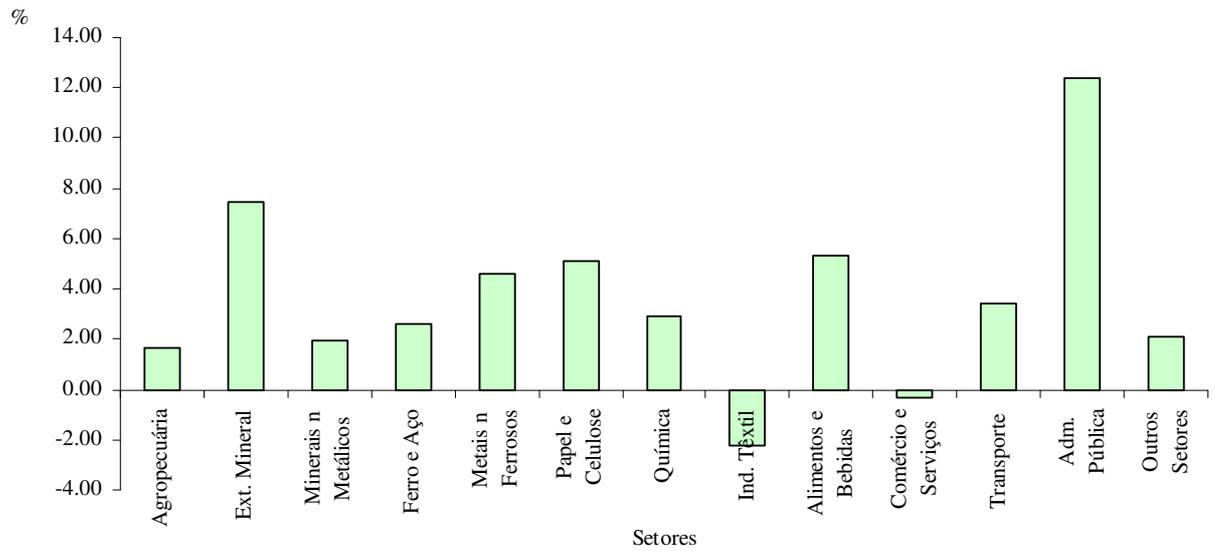
Fonte: Elaborado pelo Autor.

#### 7.5 Evolução do Quociente de Emissão Total por Valor Bruto de Produção Setorial, período de 1990 a 2005.





Fonte: Elaborado pelo autor.

**7.6 Taxa média de crescimento das emissões setoriais Brasileiras (1990-2005).**

Fonte: Balanço de Carbono, Energia Equivalente e Final.

### 7.7 Tabela Completa de Resultados Globais

Origem do dado	Ano	Demanda Final R\$ (preços de 2005)	Emissões Gg/ano
Pré - determinado	1990	1.432.005.608	226.299
	1991	1.459.710.001	233.614
	1992	1.458.105.468	236.469
	1993	1.539.949.758	247.984
	1994	1.631.061.837	263.220
	1995	1.705.044.377	276.232
	1996	1.740.946.676	290.477
	1997	1.655.631.816	302.111
	1998	1.661.206.146	311.665
	1999	1.704.169.892	318.209
	2000	1.764.464.193	320.273
	2001	1.824.758.494	325.463
	2002	1.861.165.994	337.072
	2003	1.873.940.129	342.431
	2004	2.134.270.565	360.974
2005	2.394.601.000	366.248	
Projetado	2006	2.484.506.336	376.447
	2007	2.578.278.132	386.997
	2008	2.676.103.192	397.915
	2009	2.778.178.135	409.214
	2010	2.884.709.949	420.911
	2011	2.995.916.555	433.024
	2012	3.112.027.426	445.568
	2013	3.233.284.221	458.564
	2014	3.359.941.473	472.030
	2015	3.492.267.300	485.986

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

## 7.8 Dados Projetados para as Emissões Setoriais

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	22.704	23.323	23.960	24.616	25.291	25.985	26.701	27.437	28.196	28.977	2,75
2 Extrativa Mineral	7.380	7.602	7.831	8.069	8.314	8.568	8.831	9.103	9.385	9.677	3,06
3 Minerais não Metálicos	10.505	10.799	11.104	11.419	11.745	12.082	12.430	12.791	13.165	13.552	2,87
4 Ferro e Aço	69.630	71.603	73.638	75.739	77.907	80.144	82.455	84.840	87.304	89.848	2,87
5 Metais não Ferrosos	8.367	8.637	8.918	9.208	9.509	9.821	10.144	10.479	10.826	11.185	3,28
6 Papel e Celulose	21.612	22.194	22.795	23.415	24.056	24.717	25.401	26.108	26.839	27.594	2,75
7 Indústria Têxtil	1.538	1.582	1.627	1.673	1.721	1.770	1.821	1.873	1.927	1.982	2,86
8 Alimentos e Bebidas	52.946	54.512	56.128	57.795	59.513	61.286	63.115	65.001	66.947	68.954	2,98
9 Comércio e Serviços	2.497	2.571	2.648	2.728	2.811	2.896	2.984	3.075	3.170	3.268	3,03
10 Transporte	141.919	145.079	148.335	151.690	155.149	158.714	162.391	166.184	170.098	174.137	2,30
11 Administração Pública	1.778	1.834	1.892	1.952	2.014	2.079	2.145	2.214	2.285	2.359	3,19
12 Outros Setores	35.572	37.260	39.038	40.911	42.883	44.961	47.151	49.459	51.891	54.455	4,84
<b>Total</b>	<b>376.447</b>	<b>386.997</b>	<b>397.915</b>	<b>409.214</b>	<b>420.911</b>	<b>433.024</b>	<b>445.568</b>	<b>458.564</b>	<b>472.030</b>	<b>485.986</b>	<b>2,88</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

## 7.9 Dados Projetados para a Demanda Final do Modelo de Insumo-Produto

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	88.860.626	91.007.999	93.207.265	95.459.678	97.766.521	100.129.111	102.548.794	105.026.950	107.564.992	110.164.368	2,42
2 Extrativa Mineral	36.278.805	37.222.380	38.190.497	39.183.793	40.202.923	41.248.561	42.321.394	43.422.130	44.551.496	45.710.235	2,60
3 Minerais não Metálicos	4.931.696	4.999.404	5.068.042	5.137.623	5.208.158	5.279.662	5.352.148	5.425.629	5.500.119	5.575.631	1,37
4 Ferro e Aço	23.858.143	24.413.749	24.982.294	25.564.079	26.159.413	26.768.610	27.391.995	28.029.897	28.682.655	29.350.613	2,33
5 Metais não Ferrosos	30.822.007	31.928.359	33.074.424	34.261.627	35.491.444	36.765.406	38.085.096	39.452.157	40.868.287	42.335.250	3,59
6 Papel e Celulose	35.815.626	36.625.223	37.453.121	38.299.734	39.165.483	40.050.803	40.956.135	41.881.931	42.828.655	43.796.779	2,26
7 Indústria Têxtil	80.170.267	82.439.053	84.772.045	87.171.059	89.637.965	92.174.683	94.783.189	97.465.514	100.223.749	103.060.040	2,83
8 Alimentos e Bebidas	236.266.572	243.474.493	250.902.310	258.556.733	266.444.673	274.573.255	282.949.821	291.581.935	300.477.394	309.644.232	3,05
9 Comércio e Serviços	642.751.112	661.456.080	680.705.388	700.514.878	720.900.853	741.880.088	763.469.849	785.687.902	808.552.532	832.082.555	2,91
10 Transporte	69.345.637	70.203.473	71.071.921	71.951.112	72.841.180	73.742.258	74.654.482	75.577.991	76.512.925	77.459.424	1,24
11 Administração Pública	489.234.779	504.246.047	519.717.907	535.664.493	552.100.370	569.040.552	586.500.512	604.496.199	623.044.051	642.161.009	3,07
12 Outros Setores	746.171.066	790.261.872	836.957.977	886.413.328	938.790.966	994.263.567	1.053.014.012	1.115.235.985	1.181.134.618	1.250.927.162	5,91
<b>Total</b>	<b>2.484.506.336</b>	<b>2.578.278.132</b>	<b>2.676.103.192</b>	<b>2.778.178.135</b>	<b>2.884.709.949</b>	<b>2.995.916.555</b>	<b>3.112.027.426</b>	<b>3.233.284.221</b>	<b>3.359.941.473</b>	<b>3.492.267.300</b>	<b>3,86</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

### 7.10 Dados Projetados para as Emissões Setoriais dado Cenário A1

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	22.702	23.319	23.954	24.607	25.280	25.973	26.686	27.420	28.177	28.956	2,74
2 Extrativa Mineral	7.383	7.608	7.841	8.082	8.331	8.589	8.856	9.133	9.420	9.717	3,10
3 Minerais não Metálicos	10.509	10.809	11.118	11.439	11.770	12.113	12.468	12.836	13.216	13.611	2,91
4 Ferro e Aço	69.669	71.683	73.762	75.909	78.126	80.416	82.782	85.226	87.752	90.362	2,93
5 Metais não Ferrosos	8.372	8.648	8.935	9.232	9.540	9.859	10.190	10.534	10.890	11.260	3,35
6 Papel e Celulose	21.617	22.204	22.810	23.437	24.084	24.753	25.445	26.160	26.900	27.665	2,78
7 Indústria Têxtil	1.538	1.582	1.627	1.674	1.722	1.771	1.822	1.874	1.928	1.984	2,87
8 Alimentos e Bebidas	52.950	54.522	56.143	57.816	59.541	61.321	63.157	65.051	67.006	69.023	2,99
9 Comércio e Serviços	2.497	2.572	2.650	2.730	2.813	2.899	2.988	3.081	3.176	3.275	3,06
10 Transporte	141.901	145.046	148.286	151.627	155.073	158.626	162.293	166.078	169.985	174.020	2,29
11 Administração Pública	1.778	1.835	1.893	1.954	2.017	2.081	2.149	2.218	2.290	2.364	3,22
12 Outros Setores	35.591	37.300	39.102	41.001	43.003	45.114	47.339	49.686	52.162	54.773	4,91
<b>Total</b>	<b>376.509</b>	<b>387.128</b>	<b>398.123</b>	<b>409.508</b>	<b>421.300</b>	<b>433.517</b>	<b>446.176</b>	<b>459.298</b>	<b>472.902</b>	<b>487.009</b>	<b>2,90</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

### 7.11 Dados Projetados para a Demanda Final do Modelo de Insumo-Produto dado Cenário A1

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	88.824.545	90.934.107	93.093.771	95.304.726	97.568.191	99.885.413	102.257.669	104.686.265	107.172.539	109.717.862	2,37
2 Extrativa Mineral	36.306.340	37.278.903	38.277.518	39.302.884	40.355.718	41.436.754	42.546.749	43.686.478	44.856.738	46.058.346	2,68
3 Minerais não Metálicos	4.940.637	5.017.549	5.095.658	5.174.983	5.255.542	5.337.356	5.420.444	5.504.825	5.590.519	5.677.548	1,56
4 Ferro e Aço	23.885.484	24.469.738	25.068.282	25.681.467	26.309.651	26.953.201	27.612.492	28.287.910	28.979.849	29.688.713	2,45
5 Metais não Ferrosos	30.865.050	32.017.599	33.213.185	34.453.417	35.739.961	37.074.546	38.458.967	39.895.084	41.384.828	42.930.201	3,73
6 Papel e Celulose	35.835.314	36.665.502	37.514.921	38.384.019	39.273.252	40.183.085	41.113.995	42.066.472	43.041.015	44.038.135	2,32
7 Indústria Têxtil	80.177.868	82.454.685	84.796.157	87.204.121	89.680.463	92.227.126	94.846.107	97.539.460	100.309.296	103.157.787	2,84
8 Alimentos e Bebidas	236.293.522	243.530.041	250.988.179	258.674.724	266.596.670	274.761.226	283.175.824	291.848.119	300.786.005	309.997.614	3,06
9 Comércio e Serviços	642.891.166	661.744.369	681.150.456	701.125.638	721.686.605	742.850.537	764.635.114	787.058.539	810.139.545	833.897.416	2,93
10 Transporte	69.309.279	70.129.877	70.960.191	71.800.335	72.650.427	73.510.583	74.380.924	75.261.569	76.152.640	77.054.261	1,18
11 Administração Pública	489.334.062	504.450.726	520.034.378	536.099.446	552.660.801	569.733.774	587.334.171	605.478.285	624.182.913	643.465.371	3,09
12 Outros Setores	746.748.792	791.486.072	838.903.536	889.161.753	942.430.910	998.891.390	1.058.734.385	1.122.162.538	1.189.390.635	1.260.646.327	5,99
<b>Total</b>	<b>2.485.412.058</b>	<b>2.580.179.166</b>	<b>2.679.096.232</b>	<b>2.782.367.513</b>	<b>2.890.208.190</b>	<b>3.002.844.992</b>	<b>3.120.516.841</b>	<b>3.243.475.543</b>	<b>3.371.986.521</b>	<b>3.506.329.581</b>	<b>3,90</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

### 7.12 Dados Projetados para as Emissões Setoriais dado Cenário A2.

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	22.682	23.278	23.891	24.521	25.170	25.837	26.524	27.230	27.958	28.706	2,65
2 Extrativa Mineral	7.376	7.592	7.816	8.048	8.288	8.536	8.793	9.058	9.333	9.618	2,99
3 Minerais não Metálicos	10.495	10.779	11.073	11.377	11.691	12.016	12.353	12.701	13.062	13.435	2,78
4 Ferro e Aço	69.580	71.500	73.480	75.524	77.633	79.809	82.055	84.374	86.768	89.241	2,80
5 Metais não Ferrosos	8.363	8.630	8.907	9.193	9.490	9.798	10.116	10.446	10.789	11.144	3,24
6 Papel e Celulose	21.588	22.145	22.720	23.313	23.926	24.559	25.214	25.890	26.589	27.312	2,65
7 Indústria Têxtil	1.537	1.580	1.624	1.670	1.717	1.765	1.815	1.866	1.918	1.973	2,81
8 Alimentos e Bebidas	52.926	54.473	56.068	57.713	59.409	61.159	62.963	64.825	66.745	68.726	2,95
9 Comércio e Serviços	2.495	2.568	2.643	2.721	2.801	2.885	2.971	3.060	3.152	3.248	2,97
10 Transporte	141.652	144.540	147.516	150.585	153.750	157.015	160.384	163.861	167.452	171.160	2,12
11 Administração Pública	1.777	1.833	1.891	1.951	2.013	2.077	2.143	2.211	2.282	2.355	3,18
12 Outros Setores	35.555	37.224	38.983	40.835	42.785	44.840	47.004	49.285	51.689	54.222	4,80
<b>Total</b>	<b>376.026</b>	<b>386.142</b>	<b>396.612</b>	<b>407.451</b>	<b>418.673</b>	<b>430.295</b>	<b>442.334</b>	<b>454.808</b>	<b>467.737</b>	<b>481.138</b>	<b>2,78</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

### 7.13 – Dados Projetados para a Demanda Final do Modelo de Insumo-Produto dado Cenário A2.

Setores	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Taxa média de Crescimento (%)
1 Agropecuária	88.718.952	90.718.035	92.762.163	94.852.351	96.989.637	99.175.081	101.409.770	103.694.812	106.031.342	108.420.521	2,25
2 Extrativa Mineral	36.256.722	37.177.079	38.120.799	39.088.475	40.080.714	41.098.141	42.141.395	43.211.131	44.308.022	45.432.757	2,54
3 Minerais não Metálicos	4.920.233	4.976.192	5.032.787	5.090.025	5.147.915	5.206.463	5.265.677	5.325.564	5.386.132	5.447.390	1,14
4 Ferro e Aço	23.835.242	24.366.904	24.910.424	25.466.068	26.034.106	26.614.814	27.208.476	27.815.380	28.435.821	29.070.101	2,23
5 Metais não Ferrosos	30.826.876	31.938.447	33.090.101	34.283.281	35.519.486	36.800.267	38.127.230	39.502.042	40.926.428	42.402.174	3,61
6 Papel e Celulose	35.771.124	36.534.265	37.313.687	38.109.736	38.922.769	39.753.147	40.601.240	41.467.426	42.352.091	43.255.630	2,13
7 Indústria Têxtil	80.137.392	82.371.456	84.667.801	87.028.163	89.454.328	91.948.129	94.511.451	97.146.234	99.854.470	102.638.205	2,79
8 Alimentos e Bebidas	236.255.996	243.452.697	250.868.620	258.510.443	266.385.046	274.499.522	282.861.176	291.477.539	300.356.368	309.505.660	3,05
9 Comércio e Serviços	642.553.495	661.049.405	680.077.720	699.653.765	719.793.307	740.512.566	761.828.229	783.757.464	806.317.932	829.527.803	2,88
10 Transporte	69.123.981	69.755.395	70.392.576	71.035.578	71.684.454	72.339.256	73.000.040	73.666.860	74.339.771	75.018.828	0,91
11 Administração Pública	489.235.750	504.248.046	519.720.999	535.668.742	552.105.844	569.047.323	586.508.654	604.505.789	623.055.171	642.173.743	3,07
12 Outros Setores	745.969.540	789.835.062	836.280.024	885.456.107	937.523.908	992.653.472	1.051.024.840	1.112.828.641	1.178.266.713	1.247.552.765	5,88
<b>Total</b>	<b>2.483.605.303</b>	<b>2.576.422.983</b>	<b>2.673.237.700</b>	<b>2.774.242.734</b>	<b>2.879.641.514</b>	<b>2.989.648.180</b>	<b>3.104.488.177</b>	<b>3.224.398.881</b>	<b>3.349.630.260</b>	<b>3.480.445.577</b>	<b>3,82</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos resultados do trabalho.

