

# AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> SETORIAIS E NA ESTRUTURA DE EXPORTAÇÕES: UM MODELO INTER-REGIONAL DE INSUMO-PRODUTO SÃO PAULO/RESTANTE DO BRASIL

Terciane Sabadini Carvalho<sup>§</sup>  
Fernando Salgueiro Perobelli<sup>□</sup>

## RESUMO

Este trabalho quantifica as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, considerando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido para São Paulo e o restante do Brasil, utilizando a matriz de 1996. É calculada a intensidade de emissões de dióxido de carbono para 15 setores, identificando a parcela de emissões totais devida à demanda final e ao consumo intermediário. Além disso, foram calculados os setores-chave nas emissões por meio do cálculo das elasticidades, identificando os setores de Agropecuária, Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes nas duas regiões analisadas. Também foi verificada a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada nas exportações, mostrando que a pauta de exportações brasileira é, em grande parte, intensiva em poluição.

**Palavras-chave:** emissões de CO<sub>2</sub>, modelo híbrido, insumo-produto, setores-chave, exportações.

## ABSTRACT

This paper quantifies CO<sub>2</sub> emissions resulting from the consumption of energy fuels, assuming a hybrid inter-regional input-output analysis for the regions of Sao Paulo and rest of Brazil, using the matrix of 1996. We calculated the intensity of carbon dioxide emissions to 15 sectors, identifying the portion of total emissions due to the final demand and consumption intermediated. Moreover, the key-sector's emissions were calculated by elasticities, identifying the sectors of Agriculture, Steel, Food and Beverages, Other Sectors and Transport in the two regions analyzed. Finally, was also analyzed the amount of CO<sub>2</sub> incorporated in exports, noting that the agenda of Brazilian exports is largely pollution intensive.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emissions, hybrid model, input-output analysis, key-sectors, exports.

**JEL classification:** C67, D57, Q50.

---

§ Mestre em Economia CMEA/UFJF. E-mail: tercianesabadini@yahoo.com.br.

□ Professor de Mestrado em Economia Aplicada – FEA/UFJF. Bolsista do CNPq – Nível II. E-mail: fernando.perobelli@ufjf.edu.br.

Endereço para contato: Mestrado em Economia Aplicada – Faculdade de Economia e Administração – Universidade Federal de Juiz de Fora – Campus Universitário – Juiz de Fora – MG – CEP: 36036-330.

Recebido em abril de 2008. Aceito para publicação em outubro de 2008.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (WCED, 1987), conhecido como relatório *Brundtland*, os riscos e as incertezas ambientais decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro são inquietantes. Dentre os riscos, pode-se destacar a probabilidade de alteração climática devido ao “efeito estufa” causado por gases emitidos na atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis, e a poluição do ar urbano pelas indústrias, também devido a este GEE.<sup>1</sup> O acúmulo de CO<sub>2</sub> e de outros gases na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta. Isto pode fazer com que o nível do mar, nos próximos anos, se eleve a ponto de inundar muitas cidades situadas em litorais e deltas de rio, e também pode causar enormes transtornos à produção agrícola nacional e internacional e aos sistemas comerciais.

Em 1997, foi celebrado o Protocolo de Quioto, com o compromisso de 39 países desenvolvidos, na terceira Conferência das Partes.<sup>2</sup> O acordo, que entrou em vigor em fevereiro de 2005, exige que os países mais industrializados, os maiores geradores desses gases, restrinjam suas emissões em 5,2%, até 2012, com base nos níveis de 1990, estabelecendo sanções para os não cumpridores. Relacionou esses países no chamado Anexo I, totalizando 41, todos no hemisfério norte, com exceção da Austrália e Nova Zelândia<sup>3</sup> (CONTI, 2005).

Neste contexto, também existe, na última década, um crescente interesse pelas consequências do comércio internacional sobre o meio ambiente, por causa da sua importância como fator de desenvolvimento econômico em um contexto de globalização (MONGELLI *et al.*, 2004).

O comércio internacional afeta o meio ambiente principalmente através do efeito composição (GROSSMAN; KRUEGER, 1991), que é aquele no qual um país se especializa em produtos que fornecem uma vantagem competitiva sobre o mercado global, comparativamente aos outros países. Esta vantagem pode consistir em menores custos de trabalho, maiores dotações de recursos, disponibilidade de capital ou *know-how*, legislação ambiental menos rigorosa ou uma combinação destes.

De acordo com a hipótese de Refúgio da Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*), um sistema econômico com menos regulamentação ambiental pode experimentar um ganho de competitividade na produção de bens intensivos em poluição, o que pode acarretar, no curto prazo, crescentes exportações desses países para os países com maiores regulamentações (MONGELLI *et al.*, 2004).

1 GEE – Gás de Efeito Estufa.

2 A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em junho de 1992 no Rio de Janeiro, deu-se início a um processo regular de reuniões com os países signatários da Convenção, visando a implementação de metas de redução dos GEE. Essas reuniões são conhecidas como Conferência das Partes (COP – *Conference of Parties*).

3 Alemanha, Austrália, Áustria, Bielo-Rússia, Bélgica, Bulgária, Canadá, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, EUA, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Nova Zelândia, Noruega, Polônia, Portugal, Reino Unido e Irlanda do Norte, República do Norte, República Checa, Romênia, Rússia, Suíça, Turquia e Ucrânia.

No entanto, a ampliação da degradação ambiental nos últimos anos, bem como a conscientização de suas consequências, tem trazido à tona, sucessivamente (às vezes, simultaneamente), diferentes aspectos da relação meio ambiente e comércio exterior. Por um lado, novos aspectos emergem neste debate; por outro, aspectos desprezados anteriormente retornam ao debate, renovados e reforçados. Pode-se derivar desta relação questões como sustentabilidade econômico-ecológica (local, nacional, regional ou global) e acesso ao uso de recursos ambientais (distribuição do uso intra e intergerações), competitividade e localização industrial, e neoprotecionismo – uso de regulação ambiental como nova forma de protecionismo da indústria doméstica – *versus* proteção ambiental – uso de regulação ambiental como forma de proteção e preservação do meio ambiente (MACHADO, 2002).

Segundo Machado (2002), à exceção daqueles impactos causados pelo transporte de produtos transacionados internacionalmente, os impactos ambientais que podem ser associados ao comércio exterior não estão intrinsecamente relacionados à natureza do ato de comercialização propriamente dito. Antes, estão especialmente relacionados à produção e ao consumo dos bens e serviços transacionados com o exterior. Neste sentido, a destinação final do produto (mercado doméstico ou externo) e o local onde ocorre seu consumo (no país produtor ou no exterior – quando se separa produção e consumo no espaço via comércio exterior) não alteram, *a priori*, a natureza e a magnitude do impacto ambiental.

O processamento de algumas matérias-primas, como polpa e papel, petróleo e alumínio, pode ter sérios efeitos colaterais sobre o meio ambiente. De modo geral, segundo o relatório *Brundtland* (WCED, 1987), os países industrializados tiveram mais êxito que os em desenvolvimento em conseguir que os preços dos produtos de exportação reflitam os custos dos danos ao meio ambiente e do controle desses danos. Assim, no caso das exportações de países industrializados, tais custos são pagos pelos consumidores das nações importadoras, inclusive as do Terceiro Mundo, mas, no caso das exportações dos países em desenvolvimento, esses custos continuam recaindo inteiramente sobre eles mesmos, quase sempre sob a forma de prejuízos à saúde humana, à propriedade e aos ecossistemas.

Uma séria limitação em análises de impactos ambientais é a tendência a lidar isoladamente com cada setor ou indústria, sem reconhecer a importância dos vínculos intersetoriais. A agricultura moderna utiliza grandes quantidades de energia produzida comercialmente e também de produtos industriais. Ao mesmo tempo, o vínculo mais tradicional, o fato de a agricultura ser fonte de matérias-primas para a indústria, está se desfazendo devido ao uso cada vez mais disseminado de produtos sintéticos. A ligação entre energia e indústria também está se alterando, pois há uma forte tendência a um uso menos intensivo de energia na produção industrial de alguns países industrializados. No Terceiro Mundo, contudo, a transferência gradual da base industrial para os setores produtores de materiais básicos está levando a um uso mais intensivo de energia na produção industrial (WCED, 1987).

De acordo com o relatório do balanço de carbono<sup>4</sup> realizado em convênio com o Ministério da Ciência e Tecnologia (2005) pela ONG Economia & Energia, as emissões de GEE na

4 O relatório da ONG Economia & Energia realizou a contabilidade e balanço das emissões de CO<sub>2</sub> contidas nos combustíveis fósseis nas diversas etapas de produção, transformação e uso da energia.

economia brasileira cresceram 45% entre 1994 e 2005. O Brasil não integra o conjunto de países que está no Anexo I do Protocolo de Quioto, o qual deve reduzir sua emissão de GEE até 2012. Porém, as negociações internacionais para a redução de emissões junto com o fato de o Brasil,<sup>5</sup> comparativamente às nações desenvolvidas, ser um dos responsáveis pela maior taxa de crescimento de emissões desses gases nas últimas décadas, de acordo com Hilgemberg (2005), tornam relevante a análise da intensidade das emissões de CO<sub>2</sub> na estrutura de exportações e na economia brasileira.

No Brasil, o Estado de São Paulo sozinho foi responsável, em 2003, por 31,8% do PIB. A maior área metropolitana da América do Sul, a Região Metropolitana de São Paulo, engloba 39 municípios e 10 % da população do País. Apesar do claro processo de mudança de centro industrial para centro de serviços, isto apenas induziu modificações no perfil do conjunto de poluentes atmosféricos. No município de São Paulo,<sup>6</sup> a maior fonte de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é o uso de energia (76,14%), seguido da disposição final de resíduos sólidos (emissões dos aterros sanitários). No que se refere ao uso de energia, as emissões são devidas ao consumo de combustíveis fósseis (88,78%) e energia elétrica.

O restante do Sudeste produziu 16% do PIB<sup>7</sup> brasileiro em 2003, a região Sul 18,6%, e as regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste tiveram 33,6% de participação na produção do País. No que concerne à poluição mundial, o Brasil é o quarto maior responsável pelas emissões dos gases que causam o “efeito estufa”, contribuindo com 5,4% dos GEE emitidos, segundo o relatório de 2007 do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).<sup>8</sup>

Em relação à pauta de exportações, os setores mais exportadores de São Paulo são Outros Setores, Alimentos e Bebidas, e Transportes. Produtos tais como máquinas e implementos agrícolas, material elétrico, automóveis e caminhões são alguns dos itens incluídos na atividade Outros Setores. No restante do Brasil, os setores Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Siderurgia, Têxtil e Vestuário, e Extrativa Mineral são responsáveis pela maior parte dos produtos exportados. As exportações podem ser visualizadas na Figura 1.

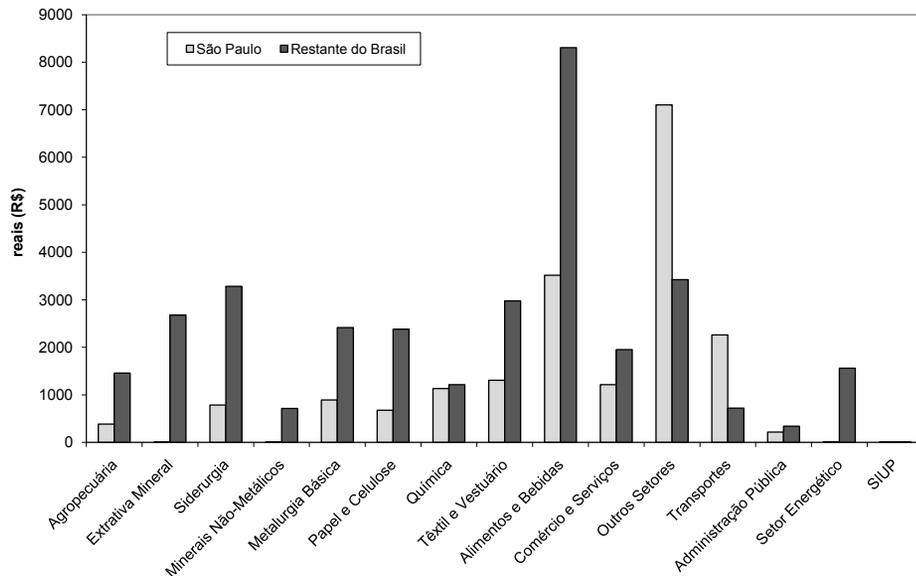
5 No Brasil, 25% das emissões de dióxido de carbono são causadas por combustíveis fósseis, enquanto 75% se devem ao uso da terra.

6 Dados do site da Prefeitura de São Paulo. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a\\_cidade/noticias/index.php?p=19955](http://www.prefeitura.sp.gov.br/portal/a_cidade/noticias/index.php?p=19955)>. Acesso em 10 de dez. de 2007.

7 Dados do site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=470&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=470&id_pagina=1)>. Acesso em 31 de jan. de 2008.

8 Este relatório levou em conta as emissões derivadas de combustíveis fósseis e do uso da terra. Os três primeiros colocados são Estados Unidos, China e União Européia, respectivamente.

Figura 1 – Exportações totais de São Paulo e do restante do Brasil em 1996



Diante do que foi exposto, este trabalho possui os seguintes objetivos: i) mensurar a importância do Estado de São Paulo no que concerne às emissões de CO<sub>2</sub>, fazendo uma comparação com o restante do Brasil; ii) avaliar a intensidade nas emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis energéticos, principalmente os fósseis, em 15 setores da economia brasileira; iii) calcular as elasticidades de emissões em relação a variações na demanda final e os setores-chave, e iv) analisar a estrutura das exportações, para verificar se a hipótese de que países em desenvolvimento exportam produtos intensivos em carbono se aplica ao Brasil.

Vale ressaltar que a metodologia utilizada pressupõe algumas hipóteses que limitam os resultados da análise. Supõe-se que o consumo de energia é função linear da produção, e que as emissões são proporcionais ao consumo de energia. No modelo, calculado para um ano específico, não é possível a incorporação de melhoramentos tecnológicos como a adoção de tecnologias energéticas “mais limpas”. Ou seja, ao adotar estas hipóteses, o trabalho elimina a possibilidade de ocorrência de uma Curva de Kuznets Ambiental. Entretanto, ao fazer a mesma análise para vários anos, se poderia flexibilizar tal limitação, pois dessa forma haveria diferentes vetores de uso de energia e, portanto, diferentes vetores de emissão de GEE. Assim sendo, ao modificar a relação energia/produto anualmente, o modelo captaria de forma indireta energias “mais limpas”.

Para atingir tais objetivos, além desta introdução, o presente artigo apresenta, em sua segunda seção, algumas evidências da literatura. A parte três evidencia a metodologia utilizada, e, em seguida, na seção quatro, são descritos os resultados. Por fim, a última seção apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 EVIDÊNCIAS DA LITERATURA

O estudo de Hetherington (1996) utilizou um modelo de insumo-produto em unidades híbridas para apresentar as intensidades de CO<sub>2</sub> em 101 grupos industriais do Reino Unido para o ano de 1984. Foram consideradas as emissões causadas por combustíveis fósseis, tais como carvão, coque e cinzas, combustível de aviação, óleo para motores, gasolina, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, óleo combustível e óleo para aquecimento. Entre os resultados encontrados, as atividades que apresentaram maior intensidade de carbono foram os setores de Eletricidade, Cimento, Ferro e Aço, Fibras Sintéticas e Extração de Carvão. Em relação às emissões totais, que consideraram as emissões domésticas mais as causadas pelas importações, revelaram-se como mais poluentes os setores de Construção, Distribuição, Motores de Veículos e Peças, Hotéis e Suprimentos, Processamento de Óleo Mineral e Transporte Aéreo. Outro resultado interessante mostrou que, nas indústrias primárias, como Extração de Óleo, a maioria das emissões é direta e, nas indústrias de manufaturas, as emissões são predominantemente indiretas.

Lenzen (1998) calculou as necessidades primárias diretas e indiretas de energia e GEE incorporados no consumo final da Austrália, utilizando um modelo de insumo-produto em unidades monetárias e um modelo em unidades híbridas, para o período de 1992/1993. O estudo considerou as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, CF<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>.<sup>9</sup> Os resultados indicaram que as maiores intensidades de GEE associadas à demanda final encontram-se nos setores de Agricultura, Silvicultura e Pesca, e indústrias relacionadas. E as menores intensidades são observadas nos setores de serviços. As necessidades de GEE em CO<sub>2</sub> no consumo final estão relacionadas, em grande parte, com as compras de bens e serviços pelas famílias.

Machado (2002) avaliou os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões de CO<sub>2</sub> por parte da economia brasileira, utilizando um modelo de insumo produto híbrido, em formato produto por atividade, aplicado aos anos de 1985, 1990 e 1995. De um modo geral, seus resultados sustentam a hipótese de que o Brasil é um exportador líquido de energia e carbono embutidos nos produtos não-energéticos transacionados internacionalmente, e também que cada dólar auferido com as exportações incorpora consideravelmente mais energia e carbono do que cada dólar dispensado com as importações. O banco de dados consistiu na tabela de usos e recursos estimados pelo IBGE, e pelo Balanço Energético Nacional, apresentando 19 produtos e 14 atividades. Os setores mais intensivos em carbono encontrados foram Ferro e Aço, Transporte, Minerais Não-Metálicos, Papel e Celulose e Outras Metalurgias.

Labandeira e Labeaga (2002), com o intuito de obter a intensidade de carbono para a Espanha em 1992 e examinar os efeitos nos preços de um possível imposto de carbono, também utilizaram um modelo de insumo-produto em unidades híbridas. Foram considerados cinco tipos de combustíveis fósseis, tais como carvão, lignito, combustíveis líquidos, gás natural e gás manufacturado, e 57 setores produtivos. Os resultados encontrados indicaram os setores de Extração de Carvão, Eletricidade, Gás Natural, Refino de Petróleo, Cimento, Gás Manufacturado,

<sup>9</sup> CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono, CH<sub>4</sub> – metano, N<sub>2</sub>O – óxido nitroso, CF<sub>4</sub> – Tetrafluoreto de carbono e C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> – perfluoretano.

Transporte Marítimo, Tijolos e Cerâmicas, como as atividades que possuem maiores intensidades de CO<sub>2</sub>.

Hilgemberg (2005) quantificou as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em nível nacional e regional, utilizando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido. Além disso, o estudo identificou os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos energéticos considerados através do cálculo das elasticidades das emissões a uma variação na demanda final. O Balanço Energético Brasileiro (BEN) e a matriz inter-regional de insumo-produto estimada pelo grupo de Projeções Econômicas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), para o ano de 1999, foram as principais bases de dados. Avaliando as intensidades das emissões, as regiões Sul e Nordeste apresentaram maiores impactos em resposta a um aumento na demanda. Os setores-chave encontrados para as emissões com origem nos derivados de petróleo para o Brasil como um todo foram os setores Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes e Administração Pública. Para a região de São Paulo, os setores-chave foram Agropecuária, Metalurgia, Papel e Celulose, Química, Refino de Petróleo, Alimentos e Bebidas, Têxtil e Vestuário, Outros Produtos, SIUP,<sup>10</sup> Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes, Administração Pública.

Nenhum destes estudos, particularmente os que foram feitos para o Brasil, utilizou um modelo de insumo-produto inter-regional<sup>11</sup> híbrido com a espacialização São Paulo/Restante do Brasil. Assim, este artigo analisa os setores que mais incorporam carbono em sua produção, assim como a quantidade de carbono embutida nas exportações. As emissões de CO<sub>2</sub> consideradas são causadas por combustíveis energéticos, tais como óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, querosene, gás-cidade, coque, carvão vegetal, álcool etílico e outros energéticos de petróleo.

### 3 METODOLOGIA

Para o estudo da intensidade de CO<sub>2</sub> emitido em São Paulo e no restante do Brasil, e a identificação do carbono incorporado nas exportações, utilizou-se o modelo de insumo-produto em unidades híbridas numa abordagem setor-setor.

Por meio de um modelo de insumo-produto inter-regional, o qual representa uma economia com fluxos intersetoriais e inter-regionais de bens entre duas regiões, obtém-se a produção total em todos os setores e regiões para satisfazer uma demanda final específica. Em termos matriciais, a solução do modelo pode ser apresentada como:

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (01)$$

10 SIUP – Serviços Industriais de Utilidade Pública (exemplos: produção de energia elétrica hidráulica, distribuição de energia elétrica, saneamento e abastecimento de água e coleta e tratamento de lixo).

11 Hilgemberg (2005) foi o único a trabalhar com um modelo de insumo-produto inter-regional na quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Modelos de insumo-produto com energia<sup>12</sup>

Uma extensão do modelo de insumo-produto é a análise com energia, a qual determina o total de energia necessária para entregar um produto à demanda final, tanto a energia direta consumida pelo processo de produção, como a energia indireta incorporada nos insumos da indústria. O processo rastreia os insumos até os recursos primários utilizados na produção; o primeiro *round* dos insumos de energia são as **necessidades diretas de energia**;<sup>13</sup> os *rounds* subsequentes de insumos energéticos são as **necessidades indiretas de energia**. A soma desses dois é a **necessidade total de energia**.

Calcular a necessidade total de energia, também chamada de **intensidade de energia**, é análogo a calcular a necessidade total em unidades monetárias ou a inversa de *Leontief* do modelo tradicional de insumo-produto, porém é interessante trabalhar com a energia medida em unidades físicas.

Ao se computar a quantidade total de energia primária necessária na produção de um bem e a quantidade total de energia secundária necessária para produzir esse mesmo produto, elas devem ser iguais, líquidas de qualquer energia perdida na conversão das formas de energia primária em energia secundária. Então, nossa formulação de insumo-produto deveria incluir a condição de que o total da intensidade de energia primária do produto deverá ser igual ao total da intensidade de energia secundária mais a quantidade de energia perdida na conversão. Chamamos este processo de **condição de conservação de energia**. Esta condição será um determinante fundamental para avaliar se um modelo de insumo-produto de energia descreve ou não o fluxo de energia adequadamente na economia.

Para começar, é preciso construir uma matriz de transações em unidades híbridas, isto é, rastrear os fluxos de energia na economia em unidades físicas e os fluxos não energéticos em unidades monetárias.

Em modelos de insumo-produto que incorporam energia, trabalha-se com um conjunto de matrizes análogo ao modelo tradicional, isto é, uma matriz de transações de energia ou matriz de fluxos, uma matriz de necessidades diretas de energia e, finalmente, uma matriz de necessidades totais de energia. Com apenas uma pequena mudança na representação das transações interindustriais no sistema convencional de insumo-produto, pode-se construir essas matrizes de insumo-produto de energia.

Primeiro, constrói-se uma matriz de fluxos de energia em unidades físicas. Para isso, suponha uma economia com  $n$  setores, assumindo que  $m$  dos  $n$  setores são energéticos. Então, a matriz de fluxos de energia,  $E$ , terá uma dimensão  $m$  por  $n$ , e a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) será dada por  $E_y$ , e o total consumido de energia na economia será dado por  $F$  ( $E_y$  e  $F$  são vetores-coluna com  $m$  elementos). Então:

$$Ei + E_y = F \tag{02}$$

<sup>12</sup> Esta seção e a próxima foram baseadas no capítulo 6 de Miller e Blair (1985).

<sup>13</sup> Grifo dos autores.

onde  $i$  é um vetor-coluna ( $n \times 1$ ), cujos elementos são números “um”. O total de energia consumido pelos setores interindustriais mais o que é consumido pela demanda final é a quantidade total de energia consumida (e produzida) pela economia.

O próximo passo é construir uma matriz de transações interindustriais em unidades híbridas, partindo da matriz de transações original,  $Z$ . É preciso substituir as linhas dos setores de energia em fluxos monetários pelas correspondentes da matriz de fluxos de energia,  $E$ . Assim, definimos a nova matriz de transações,  $Z^*$ , para a qual as linhas de energia são medidas em unidades  $tC/TJ$  (toneladas de carbono por tera joule), e as linhas não energéticas são medidas em unidades monetárias. Devemos também definir o produto total correspondente,  $X^*$ , e a demanda final,  $Y^*$ , como vetores para os quais os setores energéticos e não energéticos são similarmente medidos em unidades físicas e monetárias, respectivamente. Essas quantidades são definidas como:

$$Z_i^* \begin{cases} Z_j & \text{para linhas não energéticas} \\ E_k & \text{para linhas de energia} \end{cases}$$

$$Y_i^* \begin{cases} Y_j & \text{para linhas não energéticas} \\ e_{ky} & \text{para linhas de energia} \end{cases}$$

$$X_i^* \begin{cases} X_j & \text{para linhas não energéticas} \\ F_k & \text{para linhas de energia} \end{cases}$$

$$F_i^* \begin{cases} 0 \text{ (zero)} & \text{para linhas não energéticas} \\ F_k & \text{para linhas de energia} \end{cases}$$

As matrizes<sup>14</sup> correspondentes,  $A^* = Z^*(\hat{X}^*)^{-1}$  e  $(I - A^*)^{-1}$ , originam-se diretamente destas definições. De qualquer forma, algumas das características dessas matrizes diferem do modelo tradicional de *Leontief*. Por exemplo, a soma das colunas de  $A^*$  não necessariamente será menor do que a unidade como no modelo tradicional.

Considerando um exemplo de modelo inter-regional com duas regiões e dois setores, e considerando que o primeiro setor de cada região é um setor energético:

$$Z^* = \begin{bmatrix} tep & tep & tep & tep \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ tep & tep & tep & tep \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (03)$$

14 As matrizes que estão representadas com um “acento circunflexo” são matrizes diagonalizadas. Ex:  $\hat{X}$  e  $\hat{F}$ .

$$Y^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ tep \\ \$ \end{bmatrix} \quad (04)$$

$$X^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ tep \\ \$ \end{bmatrix} \quad (05)$$

$$F^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ tep \\ \$ \end{bmatrix} \quad (06)$$

$$A^* = \begin{bmatrix} \frac{tep}{tep} & \frac{tep}{\$} & \frac{tep}{tep} & \frac{tep}{\$} \\ \frac{\$}{tep} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{tep} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tep}{tep} & \frac{tep}{\$} & \frac{tep}{tep} & \frac{tep}{\$} \\ \frac{\$}{tep} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{tep} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix} \quad (07)$$

A matriz  $(I - A^*)^{-1}$  terá as mesmas unidades de  $A^*$ , exceto, é claro, que ela represente as necessidades (em unidades físicas ou monetárias) por unidade (em unidades físicas ou monetárias) de demanda final (isto é, as necessidades totais).

Para se obter a matriz de necessidades diretas e a matriz de necessidades totais de energia, é indispensável extrair apenas as linhas de energia de  $A^*$  e  $(I - A^*)^{-1}$ , respectivamente. Para isso, primeiro constrói-se a matriz do produto  $F^* \times (X^*)^{-1}$ . Se os elementos não nulos de  $F^*$  são idênticos aos correspondentes valores de  $X^*$ , o resultado do produto é uma matriz de números “um” e zeros, onde os números “um” representam a localização dos setores de energia. Pós-multiplicando esta matriz por  $(I - A^*)^{-1}$ , são extraídos os coeficientes totais de energia, isto é, as linhas de energia de  $(I - A^*)^{-1}$ . E pós-multiplicando por  $A^*$ , têm-se os coeficientes diretos de energia. As matrizes de coeficientes de energia direto e total são definidas como:

$$\delta = \hat{F}^* (\hat{X}^*)^{-1} A^* \quad (08)$$

$$\alpha = \hat{F}^* (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \quad (09)$$

Logo, as necessidades indiretas de energia,  $\lambda$ , são obtidas da diferença entre (09) e (08):

$$\lambda = \hat{F}^* (\hat{X}^*)^{-1} [(I - A^*) - A^*] \quad (10)$$

### 3.2 Análise da energia incorporada nas exportações

Segundo Machado (2002), considerando uma economia fechada, um teste de consistência pode ser realizado aplicando-se a equação  $F = \alpha^* Y$ , onde os vetores dos coeficientes totais de intensidade energética ( $\alpha^*$ ) e de demanda final ( $Y$ ) são expressos em unidades híbridas, e o vetor de oferta/uso de produtos energéticos ( $F$ ) é expresso em unidades físicas. O produto vetorial  $\alpha^* Y$  tem que igualar o vetor de produtos energéticos ( $F$ ), o qual é um dado de entrada no modelo de unidades híbridas. Uma vez verificada a consistência do modelo, pode-se utilizar estes coeficientes para se estimar a energia embutida no comércio internacional.

A mensuração da energia incorporada nas exportações é evidente, visto que as exportações ( $E$ ) constituem-se num componente da demanda final total ( $Y$ ). A pré-multiplicação do vetor de coeficientes totais de intensidade energética ( $\alpha^*$ ) pelo de exportação ( $E$ ) permite estimar a energia embutida nas exportações ( $F_E$ ):

$$F_E = \alpha^* E \quad (11)$$

### 3.3 Impactos setoriais e setores-chave na emissão de CO<sub>2</sub><sup>15</sup>

O modelo de emissão de CO<sub>2</sub> neste estudo aplicou o mesmo princípio do modelo de energia, com a diferença que foi extraída a intensidade de emissões, e não a intensidade de energia, por meio de fatores de conversão da quantidade de energia em carbono (vide Tabela 2).

Para encontrar os setores-chave no que concerne às emissões, é preciso construir uma matriz de elasticidades intersetoriais da demanda em relação ao consumo final de energia. Para isso, considere  $\Gamma$  um escalar que denota o uso de energia total pelo sistema produtivo e  $\tau'$  um vetor-linha do uso de energia por unidade de produto setorial. A partir do modelo de Leontief, pode-se escrever:

$$\Gamma = \tau' X^* = \tau'(I - A^*)^{-1} Y^* \quad (12)$$

Se o uso de energia depende da demanda final da economia, pode-se escrever:

$$\Delta\Gamma = \tau' \Delta X^* = \tau'(I - A^*)^{-1} Y^* \gamma \quad (13)$$

onde  $\gamma$  é um escalar que representa o aumento proporcional na demanda final.

Seja  $s$ , um vetor da participação das demandas finais setoriais em suas respectivas produções efetivas:

$$s = \left( \hat{X}^* \right)^{-1} Y^* \quad \text{ou} \quad Y^* = s \hat{X}^* \quad (14)$$

Substituindo (14) em (13), tem-se:

$$\Delta\Gamma = \tau'(I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (15)$$

Dividindo por  $\Gamma$ :

$$\Gamma^{-1} \Delta\Gamma = \Gamma^{-1} \tau'(I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (16)$$

onde  $\Gamma^{-1} \Delta\Gamma$  mostra o aumento total de energia em relação a um aumento na demanda final, isto é, a elasticidade de  $\Gamma$  em relação à demanda final. Porém, esta expressão não traz nenhuma informação adicional, dada a natureza linear do modelo, pois  $\Gamma^{-1} \Delta\Gamma = \gamma$ .

É necessário fazer uma desagregação da elasticidade. A primeira etapa é transformar a equação (16). Para isso, seja  $d'$  um vetor da distribuição de energia final entre os  $n$  setores produtivos da economia, tal que  $\sum_{i=1}^n d_i = 1$ . Assim, o vetor dos coeficientes de consumo setorial  $\tau'$  pode ser escrito como:

<sup>15</sup> Esta seção segue a apresentação do conceito de elasticidade e da metodologia para a identificação de setores-chave no consumo de energia feita em Alcántara e Padilha (2003) e Hilgemberg (2005).

$$\tau' = \Gamma d' (\hat{X}^*)^{-1} \quad (17)$$

Substituindo (17) em (16):

$$\Gamma^{-1} \Delta \Gamma = d' (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (18)$$

E considerando que:

$$(I - D)^{-1} = (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \hat{X}^* \quad (19)$$

Pois, segundo Miller e Blair (1985), quando duas matrizes quaisquer,  $\mathbf{P}$  e  $\mathbf{Q}$ , são conectadas pela relação  $\mathbf{P} = \mathbf{MQM}^{-1}$ , elas são ditas similares e são expressas por  $\mathbf{P} \approx \mathbf{Q}$ . Logo, o produto do lado direito de (19) torna-se  $(I - D)^{-1} \approx (I - A^*)^{-1}$ , ou seja,  $(I - D)^{-1}$  pode ser entendido como o valor aproximado das necessidades totais (diretas e indiretas) para a produção de bens e serviços na economia, os quais são usualmente obtidos da matriz  $(I - A^*)^{-1}$ .

E diagonalizando o vetor  $\mathbf{s}$ , pode-se obter a partir de (18) e (19):

$$\varepsilon' = d' (I - D)^{-1} s \gamma \quad (20)$$

que fornece a variação proporcional do consumo setorial de energia em relação a uma mudança proporcional na demanda final.

Omitindo-se  $\gamma$  e diagonalizando o vetor  $\mathbf{d}'$ :

$$\Gamma^y = \hat{d} (I - D)^{-1} \hat{s} \quad (21)$$

onde  $\tau_{ij}^y$  é o elemento característico da matriz  $\Gamma^y$  e expressa a porcentagem de aumento no consumo de energia final do setor  $i$  em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor  $j$ , e pode ser interpretado como elasticidade, dado que a soma dos elementos da coluna do setor  $j$  expressa a porcentagem de variação do consumo de energia experimentado por toda a economia em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor  $j$ .

Sendo  $\tau_{ij}^y$  um elemento da matriz  $\Gamma^y$ , pode-se definir:

$$P_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n \tau_{ij}^y \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (22)$$

$$P_{i\bullet} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij}^y \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (23)$$

Alcántara e Padilha (2003) chamam de impacto total a soma das colunas, que mostram o aumento porcentual no consumo de energia causado por um aumento de 1% na demanda final do setor  $j$ , dado por (22). E chamam de impacto distributivo a soma das linhas que mostram o aumento de consumo de energia do setor  $i$ , que resulta de um aumento de 1% na demanda final experimentada por todos os setores da economia, dado por (23).

Definindo  $\Gamma_T$  e  $\Gamma_D$  como os valores medianos<sup>16</sup> dos impactos totais e distributivos, respectivamente. Alcántara e Padilha (2003) adotam a classificação estabelecida na Tabela 1.

**Tabela 1 – Classificação dos setores**

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Setores relevantes do ponto de vista da demanda de outros setores <b>I</b>	Setores-chave: pressionam o consumo de energia e são pressionados a consumir energia <b>II</b>
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Setores não relevantes <b>III</b>	Setores relevantes do ponto de vista de sua demanda <b>IV</b>

Fonte: Alcántara e Padilha (2003).

Os setores no quadrante I têm seu consumo de energia determinado, em parte, pela demanda dos outros setores, pois o impacto distributivo é maior do que a mediana da economia. Os setores no quadrante II são os setores-chave, pois apresentam um efeito total e distributivo maior que os valores medianos da economia, isto é, eles são induzidos a consumir energia pelo aumento da demanda dos outros setores e, ao mesmo tempo, eles pressionam o consumo de energia dos outros setores pelo aumento de sua própria demanda. No quadrante III, estão os setores menos relevantes no que concerne às emissões e, por fim, no quadrante IV, estão os setores com alto conteúdo de energia.

### 3.4 Preparação dos dados

A matriz utilizada neste trabalho foi a matriz de insumo-produto inter-regional São Paulo/restante do Brasil estimada por Domingues (2003), e cuja base de dados representa o sistema econômico brasileiro em 1996. Foram usados também os dados para o ano de 1996 do Balanço Energético Nacional – BEN (2006) e do Balanço Energético de São Paulo – BESP (2006).

O primeiro passo na preparação dos dados foi compatibilizar os setores das três bases. A agregação feita na matriz inter-regional teve como objetivo preservar as informações quanto ao

<sup>16</sup> Os autores optam por utilizar a mediana no lugar da média, pois a média é uma medida de tendência central indicada para casos onde a distribuição dos valores é simétrica. Nos casos de distribuição assimétrica, como é o da poluição, a mediana é uma medida de tendência central mais indicada.

uso de energia fornecida pelo BEN e BESP. Então, no final, foram considerados 14 setores<sup>17</sup> mais um setor energético que contém somente combustíveis energéticos, dado os objetivos deste estudo.

A segunda etapa foi fazer a conversão dos coeficientes de energia em emissão de CO<sub>2</sub> causada pelo consumo dos combustíveis pelos vários setores da economia. Para isto, aplicaram-se os coeficientes de conversão encontrados no Balanço de Carbono, que representam a quantidade total de dióxido de carbono, medido em toneladas de carbono por tera joule (tC/TJ) emitidas na atmosfera de acordo com os coeficientes apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Coeficientes de conversão (tC/TJ) do consumo de CO<sub>2</sub>**

Produtos	Coeficiente de Conversão
Óleo Diesel	20,2
Óleo Combustível	21,1
Gasolina	19,2
GLP	17,2
Nafta	20,0
Querosene	19,55
Gás Cidade	18,2
Coque	30,6
Carvão Vegetal	29,9
Álcool Etílico	14,81
Outros Energéticos de Petróleo	20,0

Fonte: Balanço de Carbono do Ministério da Ciência e Tecnologia.

Finalmente, a última fase foi a substituição das linhas dos fluxos do setor de energia em unidades monetárias para unidades físicas, e este processo envolveu três fases. A primeira foi a computação dos valores físicos dos fluxos de carbono inter-regionalmente, assumindo a hipótese que a quantidade de energia utilizada está linearmente relacionada à produção. A segunda foi fazer uma participação porcentual da produção intersectorial pelo total do consumo intermediário, excluindo o setor de energia, e depois multiplicando essa participação pelo consumo intermediário total, para que a matriz ficasse balanceada, porém sem a linha do setor energético em unidades monetárias. E, enfim, a terceira etapa foi a alocação entre os diversos setores dos valores encontrados na primeira etapa deste procedimento.

<sup>17</sup> A agregação dos setores se encontra no Anexo 1, p. 26.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Intensidade de emissões de CO<sub>2</sub>

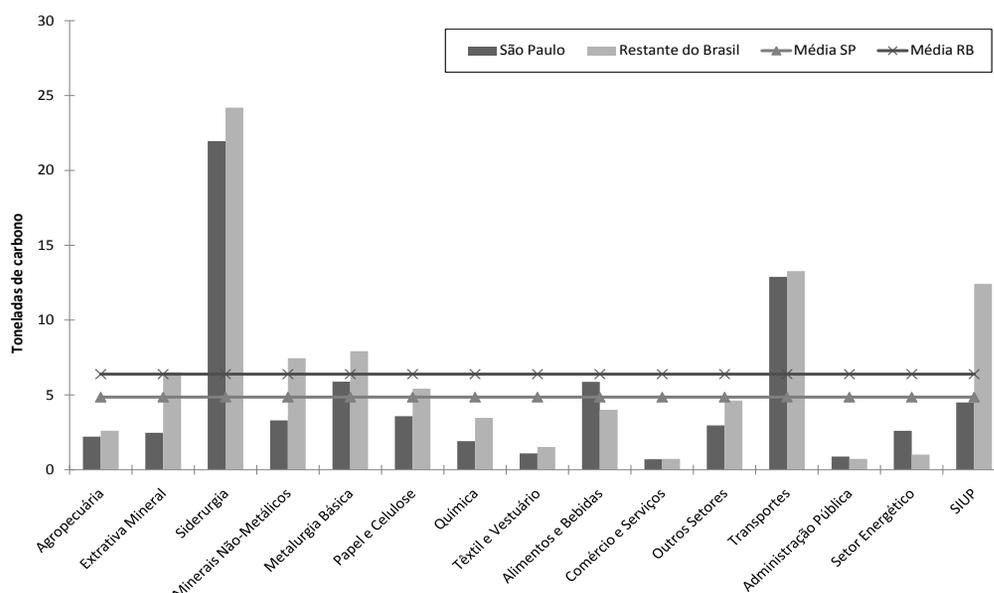
Como mencionado anteriormente, as emissões consideradas neste trabalho são aquelas devido à queima de combustíveis energéticos, incluindo os fósseis, que são os principais responsáveis pelo acúmulo dos gases de “efeito estufa” na atmosfera. Os resultados apresentados nessa seção são referentes às equações (08), (09) e (10) da metodologia apresentada no item 3.1.

A análise inter-regional mostra o impacto nas emissões que cada setor de São Paulo causará nos demais setores da sua região e nos setores do restante do Brasil para satisfazer a demanda e, da mesma forma, o impacto das emissões dos setores do restante do Brasil nos setores da sua região e nos setores de São Paulo.

Apesar de São Paulo ser responsável por uma parte considerável do PIB brasileiro, os resultados evidenciam que as emissões causadas pelos diferentes setores não dependem da concentração da produção, mas sim das ligações intersetoriais existentes.

Por exemplo, um aumento na demanda final do setor de Siderurgia em São Paulo, em R\$ 1 bilhão causa um efeito total na economia de 21,96 mil toneladas de emissões de dióxido de carbono adicionais. Este é o setor que causa maior volume de emissões por aumento da demanda final. Considerando que a média por setor é de 4,85 mil toneladas de emissões, temos que os setores de Siderurgia, Metalurgia básica, Alimentos e Bebidas, e Transportes são os setores localizados em São Paulo que mais contribuem para o aumento total das emissões.

**Figura 2 – Efeito total nas emissões de CO<sub>2</sub> (em mil toneladas) de um aumento na demanda final em R\$ 1 bilhão**



No restante do Brasil, o aumento nas emissões, quando ocorre um incremento na demanda, é, em média, de 6,39 mil toneladas de carbono. A Figura 2 apresenta os resultados para o efeito total nas emissões causado por um aumento da demanda final em R\$ 1 bilhão.

O setor que mais contribui para o aumento de dióxido de carbono no restante do Brasil, assim como em São Paulo, é o setor de Siderurgia. Os setores de Extrativa Mineral, Minerais Não-Metálicos, Metalurgia Básica, Transportes e SIUP também colaboram acima da média para o aumento das emissões.

De um modo geral, o restante do Brasil parece ter setores mais intensivos em poluição. Isto quer dizer, na verdade, que um aumento na demanda final de um determinado setor faz essa atividade demandar uma produção adicional dos demais setores da sua região e de São Paulo. É esse aumento no produto dos demais setores, e consequentemente em suas emissões, que exerce impacto relativamente mais forte na economia. Deve-se considerar também o fato de que todas as demais regiões do País estão incluídas numa única.

É importante avaliar não apenas os efeitos totais, mas identificar também os efeitos diretos, ou seja, o aumento das emissões devido a um aumento na produção para atender diretamente ao consumo da demanda final, e os efeitos indiretos, isto é, o efeito nas emissões para atender ao consumo intermediário dos diversos setores da economia nas duas regiões consideradas.

Em São Paulo, os setores Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Transportes, Setor Energético e SIUP têm suas emissões adicionais determinadas em maior parte para atender à demanda final. O aumento das emissões do setor de Transportes é em torno de 90%, devido ao consumo da demanda final.

Os demais setores têm suas emissões adicionais determinadas principalmente para atender à demanda intermediária. No caso do setor de Metalurgia Básica, aproximadamente 80% das emissões adicionais são para atender ao consumo dos outros setores. Os efeitos diretos e indiretos em São Paulo são ilustrados na Figura 3.

Os setores de Agropecuária, Extrativa Mineral, Siderurgia, Minerais Não-Metálicos, Papel e Celulose, Química, Transportes e SIUP, no restante do Brasil, aumentam suas emissões principalmente para atender à demanda final. A Figura 4 mostra os efeitos diretos e indiretos para o restante do Brasil.

Os demais setores têm suas emissões adicionais em maior parte determinadas pelo consumo intermediário. Assim com na região de São Paulo, o setor de Metalurgia Básica tem mais de 80% de suas emissões adicionais para atender ao consumo dos demais setores.

Figura 3 – Efeito direto e indireto nas emissões de CO<sub>2</sub> (em mil toneladas) de um aumento na demanda final em R\$ 1 bilhão

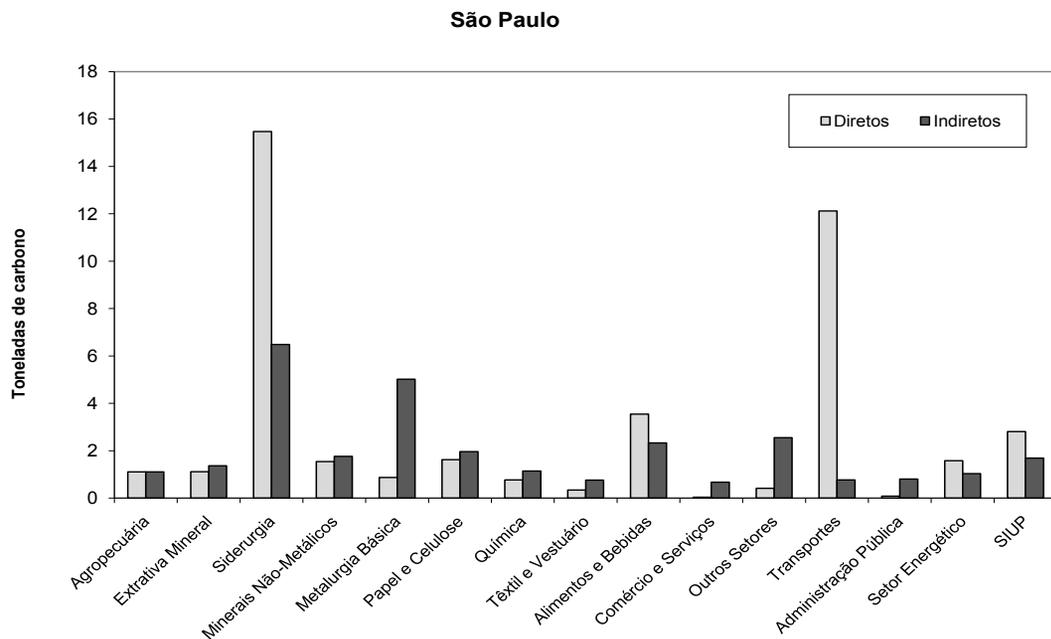
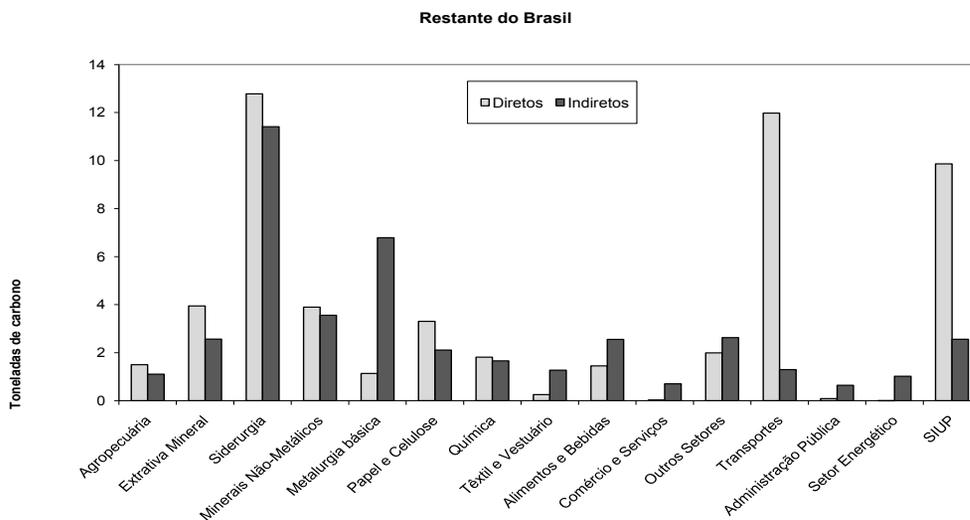


Figura 4 – Efeito direto e indireto nas emissões de CO<sub>2</sub> (em mil toneladas) de aumento na demanda final em R\$ 1 bilhão



Portanto, os setores de Transportes, Siderurgia e SIUP, nas duas regiões, mostraram que os efeitos do aumento de sua produção têm um impacto relativamente maior nas emissões, para

satisfazer o aumento da demanda final. E o setor de Metalurgia Básica, por sua vez, aumenta o volume de emissões principalmente para atender à demanda intermediária dos demais setores.

#### 4.2 Elasticidades de emissão e setores-chave

O cálculo das elasticidades fornece informações em uma matriz, onde cada elemento de uma dada coluna mostra a contribuição do impacto direto e indireto decorrente do aumento de 1% na demanda final da produção de um setor específico em cada um dos setores. Então, a soma dos elementos de uma determinada coluna mostra o impacto total nas emissões de todos os setores, em todas as regiões, de um aumento de um ponto porcentual na demanda final de um dado setor. De forma análoga, a soma de cada uma das linhas representa o impacto distributivo, ou seja, a emissão que seria gerada em um setor quando a demanda final dos outros setores aumentasse em um ponto porcentual.

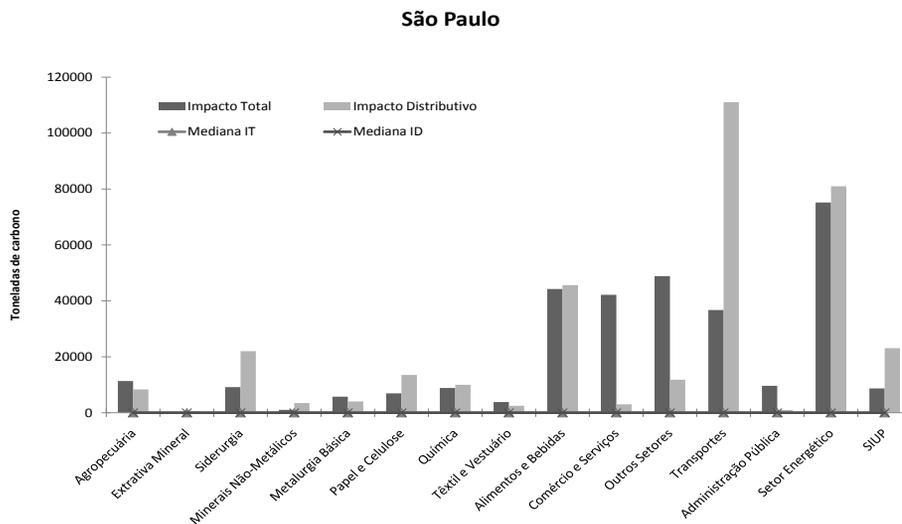
De acordo com o item 3.3 deste trabalho, foram calculadas as equações (21), (22) e (23), revelando que os setores com maior impacto total são aqueles que pressionam as emissões dos outros setores acima da mediana da economia em decorrência do aumento de 1% na sua demanda final. Em São Paulo, a mediana encontrada foi de 8,86 toneladas de carbono adicionais em resposta ao incremento da demanda. E as atividades que emitem CO<sub>2</sub> acima de 8,32 toneladas de carbono em resposta ao adicional de 1% na demanda de todos os setores, tanto da região de São Paulo quanto do restante do Brasil, possuem maior impacto distributivo. Tomando como referência a Tabela 1 (vide p. 112), as atividades em São Paulo se classificam da forma apresentada pela Tabela 3.

**Tabela 3 – Classificação dos setores em São Paulo**

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Papel e Celulose SIUP I	Agropecuária, Siderurgia, Química, Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Transportes e Setor Energético II
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Extrativa Mineral, Minerais não metálicos, Metalurgia Básica, Têxtil e Vestuário III	Comércio e Serviços e Administração Pública IV

Os setores de Agropecuária, Siderurgia, Química, Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Transportes e Setor Energético são os setores-chave no que concerne às emissões. Estes são pressionados a emitir quando a demanda dos demais setores aumenta e, ao mesmo tempo, pressionam a emissão dos outros setores quando sua própria demanda aumenta. Na Figura 5, pode-se observar que o setor de Transportes possui elevado impacto distributivo, enquanto o setor Energético tem o maior impacto total.

Figura 5 – Impactos total e distributivo para os setores localizados em São Paulo



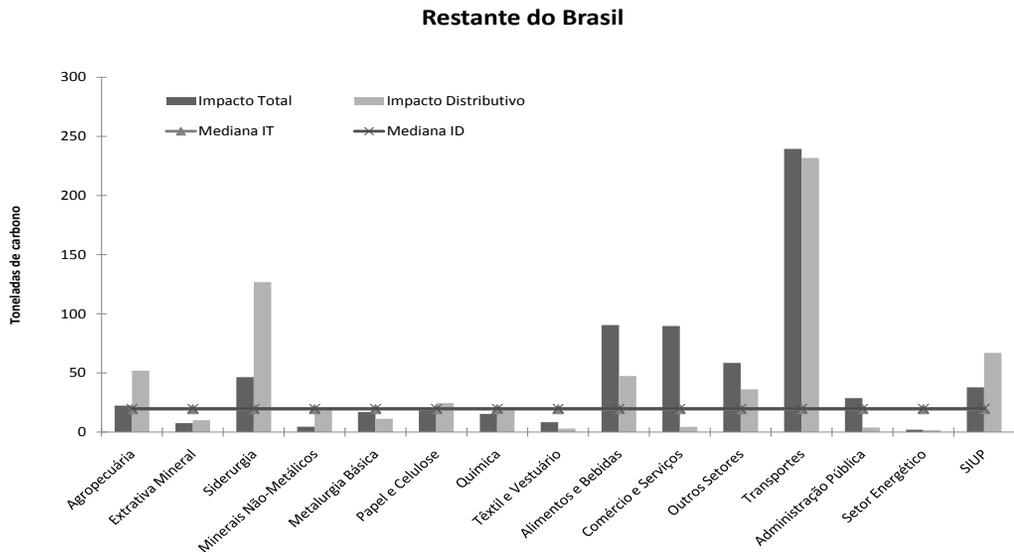
No restante do Brasil, os setores que apresentam um impacto total maior do que a mediana da economia pressionam a emissão dos demais acima de 19,04 toneladas de carbono causado pelo aumento de 1% de sua demanda. Já as atividades que possuem um maior impacto distributivo, emitem acima de 19,88 toneladas de carbono em decorrência do incremento de 1% da demanda dos demais setores. Estes setores podem ser visualizados pela Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos setores no restante do Brasil

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Minerais Não-Metálicos e Química I	Agropecuária, Siderurgia, Papel e Celulose, Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Transportes e SIUP II
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Extrativa Mineral, Metalurgia Básica, Têxtil e Vestuário e Setor Energético III	Comércio e Serviços e Administração Pública IV

Os setores-chave são os setores de Agropecuária, Siderurgia, Papel e Celulose, Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Transportes e SIUP. A Figura 6 evidencia que o setor de Transportes, assim como em São Paulo, possui o maior impacto distributivo e, nesse caso, também o maior impacto total.

Figura 6 – Impactos total e distributivo para os setores localizados no resto do Brasil



De acordo com a metodologia do IPCC, os dados da *International Energy Agency* (IEA) revelam que, no total, o setor de transportes é o principal responsável pelas emissões de CO<sub>2</sub> no caso brasileiro para dados até 2004. Isto corrobora os resultados encontrados neste trabalho, onde o setor de Transportes foi considerado “chave” tanto em São Paulo como no restante do Brasil.

Os formuladores de políticas para a redução de emissões de CO<sub>2</sub> devem ficar atentos aos setores-chave, pois restringir a emissão destes significa restringir sua produção no curto prazo e, conseqüentemente, isto afetará o produto de toda a economia de uma forma mais intensa.

### 4.3 Intensidade de emissão na estrutura da exportação

A intensidade de emissão presente na estrutura de exportação baseia-se no volume exportado e foi calculada de acordo com a fórmula (11) da seção 3.2.

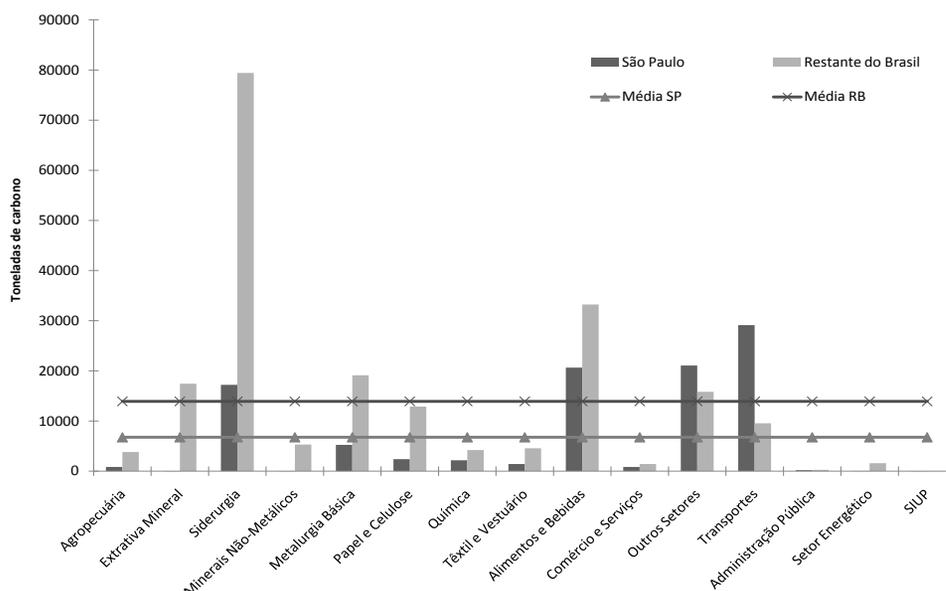
Como mencionado na introdução deste trabalho, os setores que mais exportam em São Paulo são Outros Setores, Alimentos e Bebidas, e Transportes. No restante do Brasil, os setores Alimentos e Bebidas, Outros Setores, Siderurgia, Têxtil e Vestuário, e Extrativa Mineral são responsáveis pela maior parte das exportações.

O cálculo da quantidade de carbono embutido nas exportações dos diversos setores revelou que, dos produtos comercializados, aqueles que incorporam mais CO<sub>2</sub> produzidos em São Paulo são os setores de Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes. Com exceção do setor de Siderurgia, os outros três setores apresentam um maior volume de exportações na região analisada.

No restante do Brasil, os setores de Extrativa Mineral, Siderurgia, Metalurgia Básica, Alimentos e Bebidas e Outros Setores possuem produtos com maior quantidade de emissão embutida. Desses setores que apresentaram grandes quantidades de CO<sub>2</sub> incorporadas, temos os setores de Extrativa Mineral, Siderurgia, Alimentos e Bebidas e Outros Setores, apresentando as maiores quantidades exportadas (vide Figura 1). A Figura 7 ilustra a quantidade de carbono incorporado nas exportações.

Os setores que apresentaram os maiores volumes de exportações, no geral, são aqueles que mais incorporam carbono em sua produção. Assim, os resultados encontrados nessa seção parecem fortalecer a hipótese de que países em desenvolvimento exportam bens intensivos em poluição, ou seja, produtos que causam maiores impactos no que concerne às emissões de CO<sub>2</sub>.

Figura 7 – Carbono incorporado nas exportações dos diversos setores



## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se fazer uma análise ampla sobre a questão das emissões de CO<sub>2</sub> e, para este fim, foram utilizados os seguintes indicadores: a) mensuração da importância do Estado de São Paulo no que concerne às emissões de CO<sub>2</sub>, fazendo uma comparação com o restante do Brasil; b) avaliação da intensidade nas emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis energéticos, principalmente os fósseis, em 15 setores da economia brasileira; c) cálculo das elasticidades de emissões em relação a variações na demanda final e dos setores-chave, e d) análise da estrutura das exportações, para verificar se a hipótese de que países em desenvolvimento exportam produtos intensivos em carbono se aplica ao Brasil. As emissões consideradas são decorrentes do uso de combustíveis energéticos.

As emissões de gases que causam o “efeito estufa” aumentaram, no Brasil, em 45% de 1994 a 2005. Portanto, uma avaliação dos setores mais poluentes torna-se necessária para possíveis políticas ambientais que tenham o objetivo de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub>.

Os principais resultados em relação aos indicadores a) e b) para o modelo inter-regional indicaram que o efeito de um aumento de um bilhão de reais 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. Isto parece corroborar os resultados encontrados por Hilgemberg (2004), que identificou as regiões do Nordeste e Sul (no presente estudo, incluídas no restante do Brasil) como exercendo um impacto maior sobre as emissões.

Os setores de Siderurgia, Metalurgia Básica e Transportes foram considerados responsáveis por emissões acima da média, tanto na região de São Paulo, quanto no restante do Brasil. O setor de Alimentos e Bebidas também contribui por emissões acima da média em São Paulo, e a atividade de Extrativa Mineral, Minerais Não-Metálicos e SIUP contribui de forma mais ativa para o aumento das emissões no restante do Brasil.

Em São Paulo, com exceção dos setores Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Transportes e SIUP, que aumentam suas emissões para atender mais à demanda final, as outras atividades emitem mais CO<sub>2</sub> devido ao consumo intermediário. No restante do Brasil, os setores de Agropecuária, Extrativa Mineral, Siderurgia, Minerais Não-Metálicos, Papel e Celulose, Química, Transportes e SIUP têm a sua produção adicional e conseqüente aumento de emissões destinadas a satisfazer a demanda final. Os demais setores elevam suas emissões em decorrência do aumento da demanda intermediária.

Os principais resultados em relação ao indicador c) mostraram que os setores de Agropecuária, Química, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes são considerados setores-chave para o controle de carbono em São Paulo, corroborando os resultados encontrados por Hilgemberg (2004). Agropecuária, Siderurgia, Papel e Celulose, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes são, no restante do Brasil, os setores-chave que pressionam e são pressionados a consumir energia acima da mediana da economia. O resultado para o setor de Papel e Celulose poderia ser ainda maior se o trabalho incorporasse as emissões causadas pelo desflorestamento, porém o estudo se limitou às emissões com origem nos combustíveis energéticos.

No que concerne aos setores exportadores e os resultados encontrados em relação ao indicador d), este trabalho apresentou evidências de que, no restante do Brasil e no Estado de São Paulo, a pauta de exportações se concentra em bens intensivos em poluição. Os setores Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes em São Paulo, além de serem as atividades que mais incorporam carbono nas exportações, são os setores que exportam em maior volume. No restante do Brasil, os setores Alimentos e Bebidas, Outros setores, Siderurgia e Extrativa Mineral são os mais exportadores e também se encontram na lista dos setores com maior quantidade de carbono embutido. Seria útil saber se os custos dessas emissões recaem inteiramente sobre a economia brasileira, sob a forma de danos à saúde humana, à propriedade e aos ecossistemas, ou se esses custos são repassados aos países importadores.

No curto prazo, de acordo com as hipóteses adotadas no trabalho, há indícios de um *trade-off* entre restrições de emissões e nível de atividade, pois se pode notar que a única forma de se reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> na economia é restringindo a produção dos setores. Também foi indicado neste trabalho que as emissões não dependem da concentração espacial, e sim das inter-relações entre as diversas atividades produtivas.

Desta forma, com os resultados apresentados, existem informações para tomada de decisão dos formuladores de política pública quanto à melhor estratégia de controle de emissões, tanto em São Paulo como no resto do Brasil. Porém, não foi objetivo deste trabalho discutir quais medidas de políticas poderiam ser adotadas. Além disso, pode-se considerar uma abertura da matriz para alguns combustíveis e, assim, verificar qual o impacto de cada um deles nas emissões setoriais brasileiras. A análise também poderia ser incrementada através de modelos CGE (modelos que consideram a substituição de fatores) e, com isso, considerar, por exemplo, adoção de tecnologias “mais limpas”. Estes, então, seriam assuntos a serem tratados em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. “Key” sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. *Energy Economics*, n. 31, p. 1676-1678, 2003.
- CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16, p. 70-75, 2005.
- DOMINGUES, E. P. *Dimensão regional e setorial da integração brasileira na área de livre comércio das Américas*. 2003. 228f. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- GROSSMAN, G., KRUEGER, A. Environmental impacts of a North American free trade agreement. In: *National Bureau of Economic Research Working Paper 3914*, NBER, Cambridge, MA, 1991.
- HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. *Energy Conversion Management*, v. 37, n. 6-8, p. 979-984, 1996.
- HILGEMBERG, E. M. *Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto*. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. 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 10/09/2008.
- LABANDEIRA, X.; LABEAGA, J. M. Estimation and control of Spanish energy-related CO<sub>2</sub> emissions: an input-output approach. *Energy Policy*, v. 30, p. 597-611, 2002.
- LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy*, v. 26, n. 6, p. 495-506, 1998.
- MACHADO, G. V. *Meio ambiente e comércio exterior: impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país*. 2002. 192f. Tese (Doutorado em Ciências em

- Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- MILLER, R.; BLAIR, P. *Input-output analysis: foundations and extensions*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). *Balço de carbono na produção, transformação e uso de energia no Brasil e o contido nas emissões de gases causadores do efeito estufa*. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0013/13426.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0013/13426.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2007.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). *Balço energético nacional – 2006*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 20 out. 2007.
- MONGELLI, I.; TASSIELLI, G.; NOTARNICOLA, B. Global warmings agreements, international trade and energy/carbon embodiments: an input-output approach to the Italian case. *Energy Policy*, v. 34, p. 88-100, 2006.
- SECRETARIA DE ENERGIA, RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO. *Balço energético do Estado de São Paulo – 2006*. São Paulo. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/energia.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2007.
- WCED. *Nosso futuro comum*. 1. ed. brasileira. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

## ANEXO 1

<p><b>1. Agropecuária</b> Agropecuária</p> <p><b>2. Extrativa Mineral</b> Extrativa Mineral</p> <p><b>3. Siderurgia</b> Siderurgia</p> <p><b>4. Minerais não-Metálicos</b> Minerais Não-Metálicos</p> <p><b>5. Metalurgia Básica</b> Metalurgia dos Não-Ferrosos Outros Metalúrgicos</p> <p><b>6. Papel e Celulose</b> Madeira e Mobiliário Material e Gráfica</p> <p><b>7. Química</b> Químicos Não-Petroquímicos Químicos Diversos Farmacêuticos e Perfumaria Material Plástico</p> <p><b>8. Têxtil e Vestuário</b> Borracha Têxtil Vestuário e Acessórios Calçados e Artigos de Couro e Peles</p> <p><b>9. Alimentos e Bebidas</b> Indústria do Café Prod. Benef. de Origem Vegetal Carnes Leites e Laticínios Indústria do Açúcar Óleos Vegetais Bebidas e Outros Alimentos</p>	<p><b>10. Comércio e Serviços</b> Construção Civil Comércio Comunicações Instituições Financeiras Serviços Prestados às Famílias Serviços Prestados às Empresas Aluguel de Imóveis Serviços Privados Não-Mercantis</p> <p><b>11. Outros Setores</b> Máquinas e Tratores Material Elétrico Material Eletrônico Automóveis, Caminhões e Ônibus Outros Veículos, Peças e Acessórios Indústrias Diversas</p> <p><b>12. Transportes</b> Transportes</p> <p><b>13. Administração Pública</b> Administração Pública</p> <p><b>14. Setor Energético</b> Extração de Gás, Petróleo e Outros Refino de Petróleo e Ind. Petroquímica</p> <p><b>15. SIUP</b> SIUP</p>
---	---