



**“Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões de CO2 brasileira para o período 2000 a 2005: uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA)”**

*Marcos Paulo Novais Silva  
Fernando Salgueiro Perobelli*

*TD. Mestrado em Economia Aplicada FEA/UFJF  
018/2009*

Juiz de Fora

2009

# **Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões de CO2 brasileira para o período 2000 a 2005: uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA)<sup>1</sup>**

**Marcos Paulo Novais Silva**

Mestrando em Economia Aplicada CMEA/FEA/UFJF  
Faculdade de Economia e Administração - Universidade Federal de Juiz de Fora  
Martelos CEP 36036-330 Juiz de Fora – MG e-mail: marcospnovais@gmail.com

**Fernando Salgueiro Perobelli**

Doutor em Economia FEA/USP  
Professor Mestrado em Economia Aplicada  
Bolsista Produtividade CNPq – Nível II  
Faculdade de Economia e Administração - Universidade Federal de Juiz de Fora  
Martelos CEP 36036-330 Juiz de Fora – MG e-mail: fernando.perobelli@ufjf.edu.br

## **RESUMO**

O objetivo deste artigo é a mensuração dos diversos efeitos econômicos que estão por trás das variações nas emissões de dióxido de carbono brasileiras. O método utilizado foi o de análise de decomposição estrutural (SDA – Structural Decomposition Analysis). Trata-se de um método de insumo-produto, logo de estática comparativa, que permite detalhar melhor a decomposição das mudanças tecnológicas e de demanda do processo produtivo. Para tanto se utiliza uma base de dados de emissão proveniente do balanço de emissões, energia equivalente e final e matrizes IBGE de insumo-produto, ambos para os anos de 2000 e 2005 e adaptados para 15 setores econômicos brasileiros. Os principais resultados indicam que: os setores de transportes, siderurgia e alimentos e bebidas são aqueles que se mostraram mais propensos ao aumento de emissões, quando considerada variação na demanda final, e os setores indústria do cimento, de minerais não metálicos e papel e celulose se destacam por redução de emissões devido a mudança tecnológica.

**Palavras-chave:** Emissões, Insumo-Produto, Decomposição.

## **ABSTRACT**

The aim of this paper is the measurement of the various economic effects that are behind the change in carbon dioxide emissions in Brazil. The method used was the Structural Decomposition Analysis. This is a method derived from Input-Output allowing more detail in the decomposition of technological change and demand of the production process. Thus using a database of emissions from the balance of emissions, equivalent and final energy and IBGE input-output matrices, both for 2000 and 2005 and adapted for 15 Brazilians economic sectors. The main results indicate that the sectors of transport, steel and food and beverages are those that were more likely to increase emissions, when considered variation in final demand, and industry sectors of cement, non-metallic minerals and pulp and paper stand out for reduction of emissions due to technological change.

**Key-words:** Emissions, Input-output, Decomposition.

JEL Code: C67, Q53

---

<sup>1</sup> Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG, CNPq e UFJF para a realização deste trabalho.

# Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões de CO<sub>2</sub> brasileira para o período 2000 a 2005: uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA)

## 1. Introdução

Muitos compostos químicos encontrados na atmosfera da Terra atuam como "gases causadores do efeito de estufa". Estes gases permitem que a luz solar entre na atmosfera livremente, porém quando a radiação solar atinge a superfície da Terra, parte da radiação é re-irradiada de volta para o espaço, e os gases do efeito estufa interagem a nível molecular criando como se fosse uma armadilha de calor na atmosfera, ou de uma forma mais popular, cria uma estufa. Muitos gases apresentam esta propriedade, alguns deles ocorrem na natureza, por exemplo, vapor de água, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, enquanto outros são resultados da ação exclusivamente humana, como certos gases industriais (ELETROBRÁS, 2000).

Akbostanci *et al.* (2006) referem-se ao uso acelerado de combustíveis fósseis desde a revolução industrial, e a rápida destruição das florestas como as principais causas do aumento da ocorrência do efeito estufa. Ainda, dentro de todos os gases causadores do efeito estufa, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é responsável por aproximadamente 60% de todo o efeito.

Como resultado da importância do tema foram feitas reuniões globais, para discussão e tomada de decisões a respeito. Em 1992 foi criada a Convenção das Nações Unidas Sobre as Mudanças Climáticas, aprovada e iniciada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro<sup>2</sup>.

Segundo Hilgemberg e Guilhoto (2006) em 1997 foi celebrado, com o compromisso de 37 países desenvolvidos, o protocolo de Kyoto. O Protocolo de Kyoto começou a ser executado em 2005, depois que foi ratificado pelo Parlamento Russo. O primeiro acordo determina a necessidade de redução na quantidade de emissão e aponta a necessidade de dar um tempo para que isto seja feito. Por intermédio dele, os países desenvolvidos comprometeram-se a reduzir, no período entre 2008 e 2012, suas emissões de gases causadores do efeito estufa. Para que elas se tornem, em média, 5,2% inferiores aos níveis de emissão observados em 1990.

O mais importante neste cenário de acordos para redução de emissões de CO<sub>2</sub> é entender como fazê-la. Assim cresce a importância de trabalhos na área. Alguns destes trabalhos discutem: a) a evolução tecnológica e impacto sobre emissões (CASLER E ROSE, 1998); b) identificação de setores chave no que diz respeito a emissão (CARVALHO E PEROBELLI, 2009); c) resultado de política de taxas sobre emissões (LABANDEIRA E LABEAGA, 2002); d) impacto dos componentes da demanda final nas emissões totais (HOEKSTRA E VAN DEN BERGH, 2002).

Dentro desta literatura o presente trabalho objetiva decompor e mensurar quanto da variação nas emissões advém dos componentes de demanda final e quanto do avanço tecnológico, para tanto foi utilizado uma extensão do modelo de insumo-produto, chamada de análise de decomposição estrutural<sup>3</sup>. As vantagens da incorporação do modelo de insumo-produto diz respeito a desagregação setorial dos resultados, a possibilidade de incorporação de regiões (matriz inter-regional) e o fato de ser um modelo balanceado de equilíbrio geral computável<sup>4</sup>.

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma: na seção 2 foi introduzida uma

---

<sup>2</sup> Também chamada de Eco-92, ou Rio-92.

<sup>3</sup> Structural decomposition analysis (SDA)

<sup>4</sup> Importante ressaltar que trata-se de um modelo de equilíbrio geral computável, com uma função Leontief de retornos constantes e não substituição entre fatores de produção, o que traz consigo todos os limitantes deste tipo de função produção.

revisão de trabalhos a respeito do método e trabalhos de insumo produto aplicados ao tema emissão de dióxido de carbono para o Brasil, na seção 3 é apresentado o método, na seção 4 a origem e análise exploratória da base de dados, na seção 5 os resultados divididos por tipo de efeito, e na seção 6 algumas conclusões.

## 2 - Revisão de Literatura

Em Leontief (1970) já havia a preocupação em incorporar externalidades dentro de um modelo convencional de insumo-produto, que é uma foto da economia nacional em um determinado instante, e também em demonstrar que (uma vez que isso tenha sido feito) os cálculos convencionais de insumo-produto podem produzir respostas concretas para questões fundamentais ligados a efeitos ambientais.

Geração e eliminação de vários poluentes é facilmente descrito sistematicamente e analisado dentro da estrutura de um sistema convencional de insumo-produto (LEONTIEF E FORD, 1986). Os autores introduziram a primeira análise de emissões de poluidores utilizando o método de insumo-produto.

Hawdon e Pearson (1995) mostram diversas maneiras de estudar o complexo inter-relacionamento entre energia, meio ambiente e bem estar econômico utilizando abordagem de modelos de insumo-produto (I-P). Os autores 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 básico de I-P incorporando commodities ecológicas que são insumos ou resíduos do processo produtivo. Para implementar este é necessário ter um modelo de I-P aumentado por sub-matrizes, que permitem as 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 através da introdução de linhas e colunas de insumos e produtos ecológicos. Porém 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.

Hawdon e Pearson (1995) ainda propõem uma classificação de modelos I-P, onde estes seriam determinados pela forma como foram aplicados, logo haveriam cinco tipos de modelos: a) focados em estratégia e problemas de políticas, exemplos seriam Cruz e Barata (2007) e Hoekstra e Jansenn (2006); b) coeficientes de poluição e projeção de resíduos, como em Lenzen, Pade e Munksgaard (2008); c) custo de redução e tratamento das emissões; d) impacto de preços ; e) mudanças tecnológicas e eficiência energética, um exemplo seria Bhutto e Cagathai (2008). A importância destas cinco vertentes de expansão do modelo I-P se dá pelo fato de incorporar muitas das variações possíveis de estudo de um modelo I-P básico.

O método de análise de decomposição estrutural (SDA) aparece como uma extensão do modelo de insumo-produto básico. O uso do método SDA vem crescendo muito nos anos recentes (CASLER E ROSE (1998)), porém muitas aplicações estão focando em mudanças no uso de energia, em detrimento de questões ambientais.

Casler e Rose (1998) fazem uma análise empírica do impacto de diversas variáveis sobre a emissão de dióxido de carbono, na história recente dos EUA. Este trabalho representa a primeira aplicação de análises SDA em emissão de gases causadores do efeito estufa nos EUA. Ele incorpora o método SDA e ainda alguns refinamentos deste, além disso, utiliza-se também uma matriz insumo-produto híbrida.

Os resultados dos autores indicam que o modelo SDA é uma ferramenta para análise histórica de impacto da composição de insumos e mudanças na demanda final no nível de emissão de dióxido de carbono. E, principalmente, mostram que embora o crescimento econômico por si só tivesse gerado um

aumento de emissões de dióxido de carbono, esta fonte é mais do que compensada pelas mudanças no mix de demanda final, substituição entre combustíveis e efeito tecnológico.

Labandeira e Labeaga (2002) também utilizaram o método de SDA, para obter as intensidades de emissões de carbono para a economia da Espanha em 1992. O objetivo do trabalho foi calcular desagregadamente as intensidades de emissão de dióxido de carbono de forma a estimar efeitos preço de uma taxa hipotética das emissões de carbono, para o ano de 1998.

As conclusões indicam que, diante da necessidade de adoção de uma estratégia de redução das emissões de gases causadores do efeito estufa na Espanha, o efeito de uma taxa aparece como um instrumento viável e eficiente, porém não pode ser descartada a melhora na eficiência do sistema de uso energético.

Hoekstra e Van den Bergh (2002) ressaltam a importância do método SDA e as evoluções da aplicação deste método na área de meio ambiente. Apresentam o método e mostram como outros pesquisadores vêm utilizando este em trabalhos de meio ambiente, ou seja, discutem a direção que a pesquisa em SDA vem tomando.

Os autores ainda apresentam uma tabela onde procuram referenciar os estudos que utilizam SDA aplicado a fluxos físicos da economia. Esta tabela foi adaptada para este trabalho, de forma a apresentar somente aqueles trabalhos que utilizaram o método SDA para mensurar impactos ambientais. A mesma está inserida na Tabela 1 e revela, na ordem cronológica, os trabalhos que aplicaram a abordagem de análise de decomposição estrutural para o meio ambiente, nos diversos países do mundo.

**Tabela 1 – Estudos de Análise de Decomposição Estrutural (SDA) aplicada ao meio ambiente.**

Autores	Indicador de unidade física	Período	Região (número de setores)	Utiliza matriz Híbrida	Comentário
Leontief e Ford (1971)	SO2, HC, CO e NO.	1958-1980.	Estados Unidos (90).	Sim (matriz híbrida aumentada de Leontief)	É utilizado um modelo de insumo produto ambiental aumentado de Leontief, e um método de estática comparativa para projetar as emissões de 1980.
Common e Salma (1992)	Emissões de CO2.	1974/1975-1979/ 1980-1982/1983-1986/1987.	Austrália (27).	Não	Decompõem as emissões de CO2 por família assim como por indústria. Está incluída também uma análise de cenário.
Proops <i>et al.</i> (1994)	Emissões de CO2.	1978-80-82-84-86-88 (Alemanha) 68-74-79-84 (Reino Unido).	Alemanha e Reino Unido (45).	Não	Decompõem as emissões de CO2 por família assim como por indústria. E realiza um estudo de CO2 utilizando INA, SDA, cenário e modelos de otimização.
Casler e Rose (1998)	Emissões de CO2.	1972-1982.	Estados Unidos (não especificado).	Sim	Realizou uma comparação entre a abordagem SDA e KLEM neoclássica, e compara ainda dois trabalhos anteriores. (Rose e Chen (1991) e Rose e Chen (1991b))
Chang e Lin (1998)	Emissões de CO2.	1981-1991.	Taiwan (34).	Não	Intensidade de emissão é expressa por unidade de valor adicionado ao produto.
Chung (1998)	Emissões de CO2.	SDA entre países.	China, Japão e Coréia do Sul (45).	Não	Trabalho utilizou um modelo SDA entre países em detrimento de um SDA intertemporal. Os países foram comparados para o ano de 1990.
Wier (1998)	Uso energético e emissões de CO2, SO2, NO.	1966-70, 1971-75, 1976-80, 1981-85, 1985-88.	Dinamarca (117).	Não	Decomposição detalhada das emissões provenientes de 25 tipos de energia. Decompõem tanto o uso energético das famílias quanto da indústria.
de Haan (2001)	Emissões de CO2, poluição do ar e lixo.	De 1987 a 1998.	Holanda (32)	Não	Dados da matriz de contas nacionais incluindo variáveis ambientais (NAMEA). Análise de sensibilidade das formas de decomposição de Dietzenbacher e Los(1998)

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 (2008), 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, identifica os setores-chave no que concerne 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, resto 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 setores-chave nas emissões através do cálculo das elasticidades e ainda verificar a quantidade de CO<sub>2</sub> incorporada nas exportações. Estes utilizam a matriz insumo-produto do IBGE para o ano de 1996, onde esta foi adaptada 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.

Alguns resultados indicaram 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 concerne 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 de CO<sub>2</sub> brasileira, por meio de utilização de decomposição estrutural, para os anos de 1990 e 2003. Eles verificam que setores como de Transportes, Agropecuária, Mineral não Metálico, Siderurgia, Elementos Químicos, Refino do Petróleo e Extrativa Mineral foram os que mais contribuíram para este aumento de emissões de poluentes durante o período analisado. Estes mesmos setores, indicados anteriormente, a exceção do setor de transporte, foram também aqueles que mais contribuíram para o quesito eficiência ecológica, ou melhora tecnológica. Outro resultado importante indicou que o total de emissões de CO<sub>2</sub> pela economia brasileira em 2003 foi muito maior do que em 1990, devido à própria diversificação e expansão pela qual passou a economia nesses últimos anos. E apesar da melhora no aspecto da eficiência ecológica de alguns setores, não foi suficiente para reduzir o montante total de emissões.

### **3 – Metodologia**

#### **3.1 Modelos de análise de decomposição estrutural (SDA- Structural Decomposition Analysis)**

Rose (2002) ressalta que mudanças nos padrões do uso de energia e emissão de poluentes são influenciados por muitos fatores como eventos sócio políticos, mudanças comportamentais, inovações tecnológicas, escassez de recursos e ações do governo. Por exemplo um aumento da OPEP nos preços do petróleo, levará a um efeito substituição entre combustíveis e subsequente adoção de mais tecnologia poupadora de energia, acelerando assim o declínio da intensidade de uso de energia não renovável na indústria. Outro exemplo ainda seria a imposição de uma taxa sobre a emissão de carbono pelo governo, o que levaria a uma substituição de combustíveis fósseis por combustíveis mais limpos, conseqüentemente a maior conservação do meio ambiente. A importância da utilização do método SDA é exatamente quantificar, ou medir, este tipo de variação citado anteriormente.

DA (decomposition analysis) é um método de estática comparativa, e a característica comum destes métodos é que eles ajudam a entender os efeitos determinantes que influenciam o desenvolvimento de uma variável. Quando DA faz uso de modelos de insumo-produto, temos o método SDA. Os modelos de SDA são capazes de detalhar melhor a decomposição das mudanças tecnológicas e de demanda, por que utiliza matrizes de insumo produto (HOEKSTRA E VAN DEN BERGH, 2002).

A análise de decomposição estrutural em insumo-produto (I-O SDA) é uma ferramenta alternativa de análise das respostas da produção a mudanças, no mesmo nível de detalhes das formulações neoclássicas KLEM (Capital, labour, energy and material aggregates), porém com a necessidade de menor quantidade de dados (ROSE, 2002). É também um método de estática comparativa utilizado para mensurar as mudanças estruturais na economia, utilizando dados de matrizes de insumo produto. O método se baseia na idéia de que, as mudanças no tempo de alguma variável, podem ser decomposta entre mudanças em suas próprias variáveis determinantes (DIETZENBACHER E HOEKSTRA, 2002).

O modelo básico de insumo-produto para cálculo de produto setorial, dado certo nível de demanda final é

$$x = L \times y \quad (1)$$

Onde  $L = (I - A)^{-1}$  é a inversa de Leontief, 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. A matriz  $I$ , por sua vez, é uma matriz identidade.

Quando se incorpora as emissões de dióxido de carbono na equação (1), torna-se possível escrever a equação (2),

$$E = e \times L \times y \quad (2)$$

onde,  $E$  representa um vetor de emissões de CO2 totais por setor, já o  $e$  mostra a intensidade de emissão por produto para cada setor.

Uma decomposição da equação (2) seria:

$$\Delta E = \underbrace{\Delta e \times L_0 \times y_0}_1 + \underbrace{e_1 \times \Delta L \times y_0}_2 + \underbrace{e_1 \times L \times \Delta y_0}_3 \quad (3)$$

dessa forma, temos que uma mudança no nível de emissão de CO2 setorial é decomposto em três efeitos. O primeiro termo do lado direito da equação (3) é o efeito intensidade que mede as mudanças nas emissões por unidade de produto para cada setor, o segundo termo representa o efeito dos coeficientes de insumo-produto que é devido a mudanças na estrutura de transações intermediárias, e o terceiro termo diz respeito ao efeito da demanda final refletindo as mudanças na estrutura ou nível de demanda final. Cada um destes efeitos é decomposto nas próximas seções.

Dietzembacher e Los (1998) mostraram que a média de dois casos especiais, chamada decomposição polar, é uma boa medida para resultados baseados em n decomposições. Na forma polar, todos os pesos no lado direito de um fator estão no mesmo ano de todos os pesos do lado esquerdo do fator do outro ano. Na forma polar a equação (3) ficaria da seguinte forma,



$$\Delta E = \frac{1}{2}(\Delta e \times L_0 \times y_o + \Delta e \times L_1 \times y_1) + \frac{1}{2}(e_1 \times \Delta L \times y_0 + e_0 \times \Delta L \times y_1) + \frac{1}{2}(e_1 \times L_1 \times \Delta y + e_0 \times L_0 \times \Delta y) \quad (4)$$

### 3.2. Decomposição das mudanças nos coeficientes de insumo-produto

As mudanças nos coeficientes de insumo-produto se dão por substituição de insumos ou maior eficiência no uso dos mesmos. Ainda as mudanças podem resultar de substituição entre insumos domésticos e importados. A mudança na inversa de Leontief depende de mudanças na matriz de coeficientes técnicos  $A$ . Uma forma de analisar estes efeitos é a decomposição<sup>5</sup> aditiva da matriz inversa de Leontief, equação (5) (CASLER E ROSE, 1998).

$$\Delta L = (I - \Delta A)^{-1} \quad (5)$$

A equação (5) mostra que as variações na inversa de Leontief ( $\Delta L$ ) provêm de variações na matriz de coeficientes técnicos ( $\Delta A$ ). Outra forma de tratar este mesmo problema é a utilização do Método RAS. Este método é muito utilizado na análise de insumo produto para atualizar os coeficientes de insumo produto. O mesmo faz uso do total da linha e coluna da matriz de consumo intermediária de um ano alvo, ou ano para o qual se deseja obter os coeficientes de insumo produto, e de uma estrutura de coeficientes técnicos de um ano base (SOUZA E PEROBELLI, 2008). Neste trabalho foi este o método adotado para a decomposição do componente tecnológico da matriz de insumo produto.

Dietzenbacher e Hoekstra (2002) desenvolveram o método de decomposição dos coeficientes de insumo produto por meio da utilização do método RAS. De acordo com estes, dado que  $\Delta L = L_o (\Delta A) L_1 = L_1 (\Delta A) L_o$ , a equação (5) seria representada da seguinte forma,

$$\Delta L = \frac{1}{2} L_o (\Delta A) L_1 + \frac{1}{2} L_1 (\Delta A) L_o \quad (6)$$

onde, a atenção deve ser voltada para o componente  $\Delta A$ , que carrega as informações de natureza tecnológica da matriz de insumo produto, e será decomposto a posteriori. A abordagem, desenvolvida por Van der Linden e Dietzenbacher (2000), divide a variação do coeficiente de insumo produto ( $\Delta A$ ) em três fontes. Uma das fontes seria a variação na coluna, ou efeito intensidade, que indica mudança advinda da estrutura de insumos intermediários do setor. A segunda fonte seria aquela proveniente das mudanças nas linhas, ou efeito substituição de insumos intermediários entre setores. A terceira e última reflete mudanças na célula específica, ou mudanças que não são explicadas nem pelas linhas, nem pelas colunas.

Mudanças na coluna implicam que, por exemplo, uma coluna de  $A_0$  para o setor  $j$  é

<sup>5</sup> A relação entre a matriz de coeficientes técnicos e a inversa de Leontief pode ser decomposta de forma aditiva ou multiplicativa (ROSE E CASLER, 1996 *apud* HOEKSTRA E VAN DEN BERGH, 2002)

multiplicada por um escalar  $s_j$ . Isto significa que a mudança estrutural deste tipo não altera o mix de insumos intermediários comprados pelo setor  $j$  dos demais setores. Um exemplo seria um processo de inovação, ou economia de escala, que permite que a mesma unidade de produto seja produzida usando a mesma porcentagem a menos de cada insumo.

Em contraste com a definição acima, se uma linha  $i$  de  $A_0$  for multiplicada por  $r_i$ , o resultado não é parecido com o anterior, por exemplo, um processo de inovação, pode implicar que cada setor utilize menos de um insumo intermediário, porém neste caso pode ocorrer de algum insumo passar a ser mais utilizado naquele setor, por isso efeito substituição.

Desde que os efeitos intensidade e substituição ocorram simultaneamente, de acordo com Dietzenbacher e Hoekstra (2002), a matriz  $A_0$  é afetada da seguinte forma,

$$\tilde{A}_1 = \hat{r}A_0\hat{s} \quad (7)$$

onde,  $\hat{r}$  e  $\hat{s}$  são matrizes diagonais com os multiplicadores  $r_i$  e  $s_j$ . O componente  $\tilde{A}_1$  seria a matriz de coeficientes técnicos estimada pela equação, é importante ressaltar que  $\tilde{A}_1$  não necessariamente é igual a  $A_1$ , ou verdadeira matriz de coeficiente técnico. E, a diferença entre elas é exatamente o terceiro componente da decomposição, a célula específica. As mudanças nas células específicas são mensuradas como se fosse o resíduo não explicado da equação (8).

$$\varepsilon = A_1 - \hat{A}_1 = A_1 - \hat{r}A_0\hat{s} \quad (8)$$

Com relação às equações (7) e (8) os componentes que ainda são desconhecidos são o  $r_i$  e  $s_j$ , a forma de encontrá-los é utilizando a abordagem RAS. O método é demonstrado em Miller e Blair (1985), e consiste em estimar a matriz de coeficientes técnicos de um ano alvo  $t^1$ , dado uma matriz de coeficiente técnico em  $t^0$  e o valor das vendas e compras inter-industriais de  $t^1$ .

Normalmente na literatura utiliza-se  $U_i$  e  $V_i$  para representar respectivamente as vendas inter-industriais e as compras inter-industriais, ou seja, o somatório das linhas e colunas da matriz intermediária (SOUZA E PEROBELLI, 2008).

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} \quad (9) \quad V = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n] \quad (10)$$

Logo é necessário então, para aplicar o método, a matriz de coeficientes técnicos  $A_0$ , o vetor coluna de vendas inter-industrias  $U^1$  e o vetor linha de compras inter-industriais  $V^1$ , estes dois últimos para  $t_1$ . Os algarismos 0 e 1 que aparecem representam, respectivamente, o ano base e o ano alvo.

De acordo com a metodologia de insumo produto,

$$CI_1 = A_1 X_1 \quad (11)$$

onde,  $X_1$  e  $CI_1$  são respectivamente valor bruto de produção e consumo intermediário para  $t_1$ . Logo considerando  $A_0 = A_1$  a equação (11) ficará da seguinte forma,

$$\overline{CI}_1 = A_0 X_1. \quad (12)$$

Entretanto ocorre que o somatório das linhas e colunas de  $CI_1$ ,  $U^1$  e  $V^1$ , e o mesmo somatório para  $\overline{CI}(1)$ , representados por  $U(1)$  e  $V(1)$ , não são iguais como deveria ser. No caso de  $U^1 > U(1)$ , significa dizer que os elementos da linha  $i$  são maiores do que deveriam ser e no caso de  $U^1 < U(1)$ , significa a dizer que os elementos da linha  $i$  são menores do que deveriam ser.

Logo para resolver este problema será necessário calcular a seguinte divisão  $U_i(1)/U_i^1$ , cujo resultado será  $r_i^1$ . Posteriormente multiplica-se cada elemento da linha 1 de  $A_0$  por  $r_i^1$ . Denotando  $r_1^1 a_{11}(0) = a_{11}^1$ ,  $r_1^1 a_{12}(0) = a_{12}^1 \dots r_1^1 a_{1n}(0) = a_{1n}^1$ , essa nova mudança nos coeficientes constitui a primeira estimativa para alcançar o alvo  $U^1$ . Faz-se um procedimento parecido para encontrar  $s_i^1$ , utilizando  $V_1(1)/V_1^1$ , para posteriormente multiplicar cada elemento deste vetor por  $A_0$ .

O processo descrito acima é iterativo, ou seja, repetido tantas vezes quanto necessário para que  $U(1)$  e  $V(1)$  encontrados se aproximem de  $U^1$  e  $V^1$  verdadeiros, e ainda simultâneo, ou  $r$  e  $s$  são encontrados simultaneamente.

Por último utilizam-se os vetores diagonalizados  $r_i^1$  e  $s_i^1$ , para encontrar a matriz estimada de coeficientes técnicos do ano alvo, equação (13).

$$A_1 = r^1 A_0 s^1 \quad (13)$$

A decomposição da equação 13 foi desenvolvida em Dietzenbacher e Hoekstra (2002) e encontra-se representada abaixo,

$$\frac{1}{8} [L_0(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I)L_1 + L_1(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I)L_0] (e_1 f_0 + e_0 f_1) \quad (14)$$

$$\frac{1}{8} [L_0(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I)L_1 + L_1(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I)L_0] (e_1 f_0 + e_0 f_1) \quad (15)$$

$$\frac{1}{4} [L_0 \varepsilon L_1 + L_1 \varepsilon L_0] (e_1 f_0 + e_0 f_1) \quad (16)$$

onde: os subscritos 1 e 0 representam tempo,  $L$  inversa de Leontief,  $A$  matriz de coeficientes técnicos,  $e$  vetor de intensidade de emissão e  $\varepsilon$  matriz que representa a diferença entre as matriz estimada pelo método RAS e a verdadeira matriz para o ano de 2005.

As equações (14), (15) e (16) estão separadas por representarem, cada uma delas, um tipo de efeito. A equação (14) tem como resultado efeito coluna (ou efeito intensidade), a (15) o efeito linha (ou efeito substituição) e a (16) efeito célula específico (ou componente de erro).

### 3.3. Decomposição das mudanças estruturais na demanda final

A demanda final é o termo usado para as categorias de demanda como, exportações, importações, gastos do governo, consumo das famílias e investimentos. A matriz de demanda final tem dimensões  $i$  por  $j$ , onde  $i$  é o número de setores e  $j$  número de categorias de demanda.

Hoekstra e Van den Bergh (2002) colocam a matriz de demanda final como uma multiplicação entre três fatores, como descrito na equação (14), onde  $B$  representa os elementos da demanda final dividido pela soma da coluna ao qual pertence,  $c$  é a participação de cada categoria da demanda final na demanda final total e  $f$  seria um escalar que representa o total de demanda final.

$$Y = B \times c \times f \quad (17)$$

Uma decomposição da equação (17) ficaria desta forma:

$$\Delta Y = \Delta B \times c \times f + B \times \Delta c \times f + B \times c \times \Delta f \quad (18)$$

$$\Delta Y = \frac{1}{2}(\Delta B \times c_0 \times f_0 + \Delta B \times c_1 \times f_1) + \frac{1}{2}(B \times \Delta c_0 \times f_0 + B \times \Delta c_1 \times f_1) + \frac{1}{2}(B \times c_0 \times \Delta f_0 + B \times c_1 \times \Delta f_1) \quad (19)$$

onde, na equação (18) o primeiro, o segundo, e o terceiro termo do lado direito da equação representam respectivamente, o efeito de deslocamento entre a combinação dos  $n$  produtos consumidos (ou efeito combinação de produtos), efeito dos deslocamentos ente as categorias de demanda final (ou efeito categoria), e o efeito crescimento no nível geral de demanda final (ou efeito nível de demanda final). A equação (19) representa equação (18), porém está disposta na forma polar.

### 4. Base de dados

Os dados utilizados no presente trabalho foram: o balanço de emissões, energia equivalente e final disponíveis para os anos de 1970 a 2006, porém utilizou-se neste trabalho somente as emissões de CO<sub>2</sub> para os anos de 2000 e 2005. Estes dados são providos pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Ministério de Minas e Energia; e as matrizes de insumo produto brasileira para os anos de 2000 e 2005, disponibilizadas pelo IBGE.

O Balanço de carbono, energia equivalente e final apresenta as emissões de diversos gases causadores do efeito estufa. No caso deste trabalho se considera o dado de emissão de CO<sub>2</sub>, que se encontra dividido por fonte, ou por setores. Foram disponibilizados 17 setores para tal informação.

No que tange à matriz de insumo produto, disponibilizada pelo IBGE, o número de setores é 55. Logo foi necessária uma compatibilização dos dados, de forma que, no resultado final os dados ficaram desagregados a um nível de 15 setores. A forma como foi compatibilizada encontra-se em anexo.

Na Tabela 2 são apresentadas algumas variáveis utilizadas no trabalho, em especial aquelas referentes a emissões, produção e emissão por produção<sup>6</sup>. É interessante notar que em quantidade absoluta os setores que mais poluem são em ordem decrescente, transportes, siderurgia, alimentos e bebidas e energético. No que tange a taxa de emissão por produção é possível identificar que os setores

<sup>6</sup> Calculada a partir da divisão das emissões setoriais pelo valor bruto de produção setorial.

indústria do cimento, siderúrgico, transportes, e minerais não metálicos são aqueles mais intensivos em emissão de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 2 – Dados de emissão e produção setorial**

Setores	Emissões (2000)	Emissões (2005)	Valor Bruto de Produção (2000)	Valor Bruto de produção (2005)	Taxa de emissão por produção (2000)	Taxa de emissão por produção (2005)
1- Agropecuária	19533,31	22102,88	95761	194477	0.20	0.11
2- Extrativa Mineral	5601,21	7166,03	27898	83337	0.20	0.08
3- Minerais não metálicos	9491,70	10219,93	14418	25524	0.65	0.40
4- Siderurgia	58933,05	67718,05	30472	97054	1.93	0.69
5- Met não ferrosos e outros metais	6461,88	8105,20	12078	25263	0.53	0.32
6- Papel e Celulose	17000,47	21048,43	66493	115048	0.25	0.18
7- Química	14549,77	14982,21	110913	250425	0.13	0.05
8- Têxtil	1554,96	1495,55	55891	85333	0.02	0.01
9- Alimentos e Bebidas	35895,93	51426,01	123560	257295	0.29	0.19
10- Comércio e Serviços	2648,96	2424,70	733853	1256615	0.00	0.00
11- Transportes	125584,83	138849,97	92245	180897	1.36	0.76
12- Administração Pública	2101,48	1723,05	227161	432870	0.00	0.00
13- Ind Cimento	11721,43	10156,75	4440	6674	2.63	1.52
14- Setor energético	34551,19	47610,29	75590	144942	0.45	0.32
15- Outros Setores	9194,44	8829,51	332798	630917	0.02	0.01
total	354824,69	413858,63	2003571	3786683	0,18	0,11

Fonte: IBGE e balanço de emissões, energia equivalente e final<sup>7</sup>.

## 5. Resultados

Os resultados estão dispostos nas Tabelas 3 a 5, sendo que, estão separados por tipo de efeito. Na primeira tabela estão dispostos os efeitos totais que implicam na variação da emissão de CO<sub>2</sub> e na segunda e terceira tabelas foram feitas, respectivamente, decomposições do efeito total de demanda final e tecnológico em três outros tipos de efeitos.

A Tabela 3 decompõe a variação total das emissões de CO<sub>2</sub> nos efeitos intensidade, demanda final e tecnológico. No que tange ao efeito intensidade, que mede as mudanças nas emissões por unidade de produto, os setores que mais se destacam, em variação absoluta de emissões, são siderúrgico e transportes com -78828 Gg/ano e -81105 Gg/ano, o que significa que estes setores reduziram sua emissão por unidade de produto de 2000 para 2005 em montante considerável. Com variações menores, mas não menos importante aparecem os setores agropecuária, química, alimentos e bebidas e energético. Já os setores siderurgia, administração pública e extrativa mineral são aqueles que mais se destacam na variação relativamente ao total de emissões dos mesmos em 2005. É importante também destacar que todos os setores obtiveram redução de emissões por produto na passagem do ano de 2000 para 2005.

Com relação a variação na emissão de CO<sub>2</sub> proveniente de variações na demanda final os setores que mais se destacam, em variação absoluta, continuam sendo o siderúrgico e transportes,

<sup>7</sup> Emissões em Gg/ano (Gigagrama de CO<sub>2</sub>) e valor bruto de produção em milhões/ano de R\$.

porém com maior participação dos setores de alimentos e bebidas e energético. De posse destes resultados é possível verificar que o setor siderúrgico e transportes se despontam como maiores valores devido a serem intensivos em emissão, fato já levantado na seção 4. Alimentos e bebidas e energético por serem setores que têm consumo diretamente ligado a demanda final. Os resultados do efeito de demanda final, relativos às emissões de 2005, mostram que os setores de siderurgia, extrativa mineral e administração pública aumentaram suas emissões em 91%, 83% e 80%, respectivamente relativo às emissões de 2005.

Analisando o efeito tecnológico, é possível inferir que somente os setores de minerais não metálicos, papel e celulose, têxtil, comércio e serviços e administração pública, obtiveram resultado de redução de emissões devido a algum progresso tecnológico.

**Tabela 3 – Decomposição dos efeitos totais em Gg/ano de CO2 (equação 4).**

Setores	Efeito Intensidade		Efeito demanda final		Efeito tecnológico		Parte não explicada (erro)		Total de variação nas emissões
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1- Agropecuária	-13108	-0,59	14655	0,66	861	0,04	161,56	0,01	2569.56
2- Extrativa Mineral	-6384	-0,89	5926	0,83	1574	0,22	448,82	0,06	1564.82
3- Minerais não metálicos	-5151	-0,50	6588	0,64	-616	-0,06	-92,76	-0,01	728.23
4- Siderurgia	-78828	-1,16	61627	0,91	19448	0,29	6538	0,10	8785.00
5- Met não ferrosos e outros metais	-3999	-0,49	5571	0,69	68	0,01	3,32	0,00	1643.32
6- Papel e Celulose	-6601	-0,31	11312	0,54	-609	-0,03	-54,04	0,00	4047.95
7- Química	-12892	-0,86	10737	0,72	2067	0,14	520,43	0,03	432.43
8- Têxtil	-727	-0,49	698	0,47	-27	-0,02	-3,41	0,00	-59.41
9- Alimentos e Bebidas	-17261	-0,34	31252	0,61	1365	0,03	174,07	0,00	15530.07
10- Comércio e Serviços	-1672	-0,69	1499	0,62	-44	-0,02	-7,25	0,00	-224.25
11- Transportes	-81105	-0,58	85137	0,61	7770	0,06	1463,13	0,01	13265.14
12- Administração Pública	-1739	-1,01	1371	0,80	-8	0,00	-2,42	0,00	-378.42
13- Ind Cimento	-6215	-0,61	7176	0,71	-2163	-0,21	-362,67	-0,04	-1564.67
14- Setor energético	-14181	-0,30	24526	0,52	2483	0,05	231,09	0,00	13059.09
15- Outros Setores	-6569	-0,74	5839	0,66	301	0,03	64,06	0,01	-364.9
Total	-256432	-0,62	273914	0,66	32470	0,08	9081,94	0,02	59033.94

Fonte: Resultados da pesquisa.

Obs: A coluna de participação revela a participação daquele efeito nas emissões totais do setor em 2005.

Na Tabela 4 é feita uma análise mais detalhada do efeito demanda final indicado anteriormente. O efeito total é decomposto em três outros, efeito combinação, efeito categoria e efeito variação no nível geral de demanda final, este procedimento é realizado de acordo com equação (16) da seção 3. No efeito combinação de produtos é possível identificar a variação nas emissões advindas, por exemplo, de uma redução de consumo de um determinado setor em detrimento de aumento de consumo de outro setor, por parte de um mesmo componente de demanda final (exemplo: uma família deixa de comprar um bem da indústria siderúrgica e aumenta sua compra da indústria agropecuária), ou vice e versa. Os setores que mais se destacaram, com relação ao aumento de emissões, foram: siderurgia, alimento e bebidas, transportes e extrativa mineral, já no que se refere à redução de emissão o setor de papel e celulose apresentou resultado mais expressivo.

O segundo efeito avaliado, chamado de efeito categoria, representa aquela variação nas emissões provenientes de troca de categoria de demanda final. Um exemplo que pode ser elucidado seria pensar que, do ano de 2000 para 2005, houve um aumento na participação da categoria

exportações em detrimento de uma redução na participação do consumo das famílias, no total da demanda final. Neste aspecto o setor que mais se destaca com aumento de emissões são o siderúrgico, metais não ferrosos e outros metais e papel e celulose e com redução de emissões o setor de transportes. Com menor expressão, no que tange a valor absoluto, aparecem os setores de papel e celulose e metais não ferrosos, em ambos, ocorre aumento de emissões.

O efeito variação no nível geral de demanda final representa aquela variação nas emissões advindas do crescimento no total da demanda final como um todo. É interessante notar que para este efeito as variações nas emissões de todos os setores foram positivas. Este pode ser interpretado da seguinte forma, o crescimento de demanda como um todo gera aumento de emissões em todos os setores brasileiros. Aqueles que mais se destacam em ordem decrescente são: transportes, siderúrgico, alimentos e bebidas, energético, agropecuária e papel e celulose. É importante ressaltar também que este último efeito é aquele que concentra a maior parte do efeito total de demanda final, de forma geral nos setores, fato evidenciado através da análise das colunas de participação dos efeitos.

**Tabela 4 – Decomposição dos efeitos de demanda final em Gg/ano de CO2**

Setores	Efeito Combinação de Produtos		Efeito Categoria		Efeito Crescimento da Demanda Final		Efeito Total
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1- Agropecuária	964,3	0,07	473	0,03	13217	0,90	14654,3
2- Extrativa Mineral	1678,6	0,28	103	0,02	4144	0,70	5925,6
3- Minerais não metálicos	-298,4	-0,05	617	0,09	6269	0,95	6587,6
4- Siderurgia	7818,5	0,13	11472	0,19	42337	0,69	61627,5
5- Met não ferrosos e outros metais	-120	-0,02	1102	0,20	4589	0,82	5571
6- Papel e Celulose	-1519,9	-0,13	1050	0,09	11782	1,04	11312,1
7- Química	538,1	0,05	650	0,06	9549	0,89	10737,1
8- Têxtil	-254,9	-0,37	-12	-0,02	965	1,38	698,1
9- Alimentos e Bebidas	4434,1	0,14	65	0,00	26753	0,86	31252,1
10- Comércio e Serviços	-56,5	-0,04	-78	-0,05	1634	1,09	1499,5
11- Transportes	1997,7	0,02	-437	-0,01	83576	0,98	85136,7
12- Administração Pública	29,8	0,02	69	0,05	1272	0,93	1370,8
13- Ind Cimento	35,3	0,00	-15	0,00	7155	1,00	7175,3
14- Setor energético	-425,1	-0,02	-140	-0,01	25090	1,02	24524,9
15- Outros Setores	-9	0,00	36	0,01	5812	1,00	5839
Total	14812,6	0,05	14955	0,05	244144	0,89	273911,6

Fonte: Resultados da pesquisa.

Obs: A coluna de participação mostra a participação daquele efeito no efeito total.

E, na Tabela 5 estão dispostos os resultados para a decomposição do efeito tecnológico. É importante notar que de forma geral não é possível dizer que, do ano de 2000 para 2005, ocorreu avanços tecnológicos de forma a reduzir emissões de CO2 no Brasil. Novamente os resultados foram decompostos em três tipos de efeitos, o efeito substituição, efeito intensidade e mudança específica da célula.

O efeito substituição, descrito na seção 3, é caracterizado por alterações nas linhas de magnitude igual a  $r$  (multiplicador do método RAS). Alterações estas que podem fazer com que um insumo passe a ser mais utilizado que outro, causando um efeito do tipo substituição. Neste componente os setores siderúrgico e transporte continuam a se destacar com variação positiva nas emissões, em contraste a estes, com redução de emissão aparecem os setores de energético, extrativa

mineral e agropecuária.

No que se refere ao efeito intensidade, correspondente àquele efeito de variação nas emissões, devido à redução por parte de uma indústria na utilização de todos os insumos de produção em conjunto, o setor siderúrgico tem a variação mais expressiva (17010 Gg/ano) e positiva, acompanhado pelos setores energético e de transportes, ou seja, o efeito intensidade não contribuiu para redução nas emissões e sim para aumento nestes setores. Já os setores metais não ferrosos e outros metais e papel e celulose se destacam com redução em suas emissões de -1554 Gg/ano e -1264 Gg/ano, respectivamente. Destaca-se também, a partir da análise das colunas de participação de cada efeito no efeito tecnológico total, que o efeito intensidade é aquele que concentra a maior parte dos efeitos tecnológicos setoriais.

O terceiro efeito tecnológico avaliado, mudança específica na célula, é aquele efeito que não foi possível explicar por mudanças na linha ou coluna, um resíduo da equação. No que tange a redução de emissões, a indústria de cimento, minerais não metálicos e energético, apresentaram resultado expressivo de -2609, -1889 e -1082 Gg/ano, respectivamente. Já os setores de transportes, metais não ferrosos e outros metais e siderúrgico continuam a ter efeito tecnológico de aumento de emissão de CO<sub>2</sub>.

No geral, a respeito dos efeitos tecnológicos, é possível inferir que somente a indústria do cimento, minerais não metálicos e papel e celulose obtiveram redução em suas emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes de mudança tecnológica.

**Tabela 5 – Decomposição dos efeitos tecnológicos em Gg/ano de CO<sub>2</sub> (equações 14, 15 e 16)**

Setores	Efeito Substituição		Efeito Intensidade		Mudança Específica na Célula		Total de Efeitos Tecnológicos
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1- Agropecuária	-224,4	-0,02	1359	0,09	-273,9	-0,02	14654,3
2- Extrativa Mineral	-449,4	-0,08	1622	0,27	401,2	0,07	5925,6
3- Minerais não metálicos	479,7	0,07	794	0,12	-1889,4	-0,29	6587,6
4- Siderurgia	1078,5	0,02	17010	0,28	1359,8	0,02	61627,5
5- Met não ferrosos e outros metais	118,2	0,02	-1554	-0,28	1503,8	0,27	5571
6- Papel e Celulose	455	0,04	-1264	-0,11	200	0,02	11312,1
7- Química	6,9	0,00	2491	0,23	-430,2	-0,04	10737,1
8- Têxtil	33,3	0,05	-32	-0,05	-27,6	-0,04	698,1
9- Alimentos e Bebidas	78,7	0,00	1839	0,06	-552,5	-0,02	31252,1
10- Comércio e Serviços	33	0,02	-72	-0,05	-4,7	0,00	1499,5
11- Transportes	2028,2	0,02	2268	0,03	3473	0,04	85136,7
12- Administração Pública	0,9	0,00	-7	-0,01	-1,6	0,00	1370,8
13- Ind Cimento	523,2	0,07	-77	-0,01	-2609,1	-0,36	7175,3
14- Setor energético	-753,6	-0,03	4319	0,18	-1082,4	-0,04	24524,9
15- Outros Setores	127	0,02	57	0,01	116,4	0,02	5839
Total	3535,2	0,01	28753	0,10	182,8	0,00	273911,6

Fonte: Resultados da pesquisa

Obs: A coluna de participação mostra a participação daquele efeito no efeito total.

## 6. Conclusões

Neste trabalho foi implementado o método de análise de decomposição estrutural nas matrizes insumo-produto de 2000 e 2005, para o Brasil, disponibilizadas pelo IBGE, focando no tema meio ambiente,



mais precisamente emissões de dióxido de carbono. Este tipo de trabalho não teve muitas aplicações para o Brasil, logo abre campo para aperfeiçoamento e desenvolvimentos a posteriori.

Os principais resultados indicam que:

- No geral os setores de siderurgia e transportes são aqueles que se mostraram mais propensos a aumento de emissões, quando considerados os efeitos demanda final e tecnológico. Estes dois setores são intensivos em emissão, ou seja, para uma dada taxa de produção o nível de emissão é maior que todos os outros setores.
- No que tange ao efeito intensidade é importante salientar que os setores siderurgia e transporte mostraram uma considerável redução nas emissões por produto.
- Já no que se refere a redução de emissões devido a mudança tecnológica, os setores que se destacam são a indústria do cimento, de minerais não metálicos e papel e celulose.
- É interessante notar no que tange a alterações na demanda final, que, no geral, mudanças na demanda final, ou seja, no somatório de efeitos que a determinam, sempre resulta em aumento nas emissões. Sendo que é necessária atenção maior sobre os setores de transportes, siderurgia e alimentos e bebidas, que têm aumento nas emissões consideravelmente superiores aos demais.

Este trabalho faz um mapeamento das emissões setoriais brasileiras, e mostrou resultados que permitem mensurar os efeitos de variação na produção, na tecnologia ou na demanda sobre as emissões de dióxido de carbono. A análise e mensuração destes efeitos são de extrema importância para a tomada de decisão do formulador de políticas pública, que procura atender as expectativas de crescimento econômico e ao mesmo tempo de sustentabilidade ambiental.

A análise de decomposição estrutural é um método de estática comparativa, e ainda herda do método de insumo-produto uma função produção com retornos constantes, estes são dois dos principais limitantes da metodologia, que podem ser flexibilizados, futuramente, por meio da utilização de um modelo macroeconômico integrado com insumo-produto, por exemplo.

## 7. Referências bibliográficas:

Agência Internacional de Energia (International Energy Agency). [www.iea.org](http://www.iea.org) . Acessado em 24/10/08.

Akbostanci, E.; Tunç, G. I.; Türtüt-A\_ık, S. **CO2 Emissions vs. CO2 Responsibility: An Input-Output Approach for the Turkish Economy**. ERC Working Papers in Economics 06/04, 2006.

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.

Carvalho, T. S. Perobelli, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO2 setoriais e na 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.

- Chung, H. S. Industrial Structure and Source Of Carbon Dioxide Emissions In East Asia: estimation and comparison, **Energy & Environment**, v.9, n.5, p.509–533, 1998.
- Common, M. S, Salma U. Accounting for Changes in Australian Carbon Dioxide Emissions, **Energy Economics**, v.14, n.3, p.217–225, 1992.
- 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.
- Dietzenbacher, E. Hoekstra, R. **The RAS structural decomposition Approach.** , in G.J. D. Hewings, M. Sonis and D. E. Boyce, eds., Trade, Networks and Hierarchies: Modeling Regional and Interregional Economics. Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.
- Dietzenbacher, E. Los, B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. **Economic Systems Research**, v.10, n. 4, p. 307-323, 1998.
- De Haan, M.A Structural Decomposition Analysis of Pollution in the Netherlands, **Economic System Research**, v. 13, n.2, p.181–196, 2001.
- 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.
- 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. Guilhoto, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v. 16, n.1, p. 49-99. Janeiro-abril de 2006.
- 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.
- Labandeira, X. Labeaga, J.M. Estimation and control of Spanish energy-related CO<sub>2</sub> emissions: an input-output approach. **Energy policy**, n.30, p.597-611, 2002.
- Lenzen. M. Pade, L. Munksgaard, J. CO<sub>2</sub> 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, agosto, p.262-271, 1970.
- Leontief, W. Ford, D. **Air Pollution and Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations.** Fifth International Conference on Input-Output Analysis, Geneva, Switzerland, 1971.
- Leontief, 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.

Miller, R. 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.

Proops, J. L. R., Faber, M. Wagenhals, G. Reducing CO2 Emissions: A Comparative Input-output Study for Germany and the UK. **Ecological Economics**, v. 11 n. 1, p.85-86, 1994.

Rose, A. **Handbook of Environmental and Resource Economics**. Edward Elgar Publishing, 2002. 1300 p.

Souza, R. M. Perobelli, F. S. **Mudanças estruturais na economia mineira: Uma análise de insumo-produto para o período 1996-2003**. In: XIII Seminário sobre Economia Mineira, 2008, Diamantina. Anais do XIII Seminário sobre Economia Mineira. Belo Horizonte : UFMG, 2008.

Van der Linden, J.A. Dietzenbacher, E. The determinants of structural change in the European Union: a new application of RAS. **Environment and Planning A**, v. 32, p. 2205 – 2229, 2000.

Wier, M. Sources of Changes in Emissions from Energy: A Structural Decomposition Analysis, **Economic Systems Research**, v.10, n.2, p.99–112, 1998.

## Anexos – Compatibilizações

### Matriz insumo-produto IBGE de 55 setores para 15 setores econômicos

---

#### **1 - Agropecuária**

Agricultura, silvicultura, exploração florestal

Pecuária e pesca

#### **2 - Extrativa Mineral**

Petróleo e gás natural

Outros da indústria extrativa

#### **3 - Minerais não metálicos**

Outros produtos de minerais não-metálicos

#### **4 - Siderurgia**

Minério de ferro

Fabricação de aço e derivados

#### **5 - Metais não ferrosos e outros metais**

Metalurgia de metais não-ferrosos

#### **6 - Papel e Celulose**

Celulose e produtos de papel

Jornais, revistas, discos

Artigos de borracha e plástico

#### **7 - Química**

Produtos do fumo

Refino de petróleo e coque

Produtos químicos

Fabricação de resina e elastômeros

Defensivos agrícolas

Tintas, vernizes, esmaltes e lacas

Produtos e preparados químicos diversos

#### **8 - Têxtil**

Têxteis

Artigos do vestuário e acessórios

Artefatos de couro e calçados

#### **9 - Alimentos e Bebidas**

Alimentos e Bebidas

#### **10 - Comércio e Serviços**

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

Comércio

Água e Esgoto

#### **11 - Transportes**

Transporte, armazenagem e correio

#### **12 - Administração Pública**

Educação pública

Saúde pública

Administração pública e seguridade social

#### **13 - Outros Setores**

Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos

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

Caminhões e ônibus

Peças e acessórios para veículos automotores

Outros equipamentos de transporte

Móveis e produtos das indústrias diversas

Produtos farmacêuticos

Construção

Perfumaria, higiene e limpeza

Produtos de madeira - exclusive móveis

#### **14 - Cimento**

Cimento

#### **15 - Setor energético**

Eletricidade

Álcool

Gás encanado

**Balço Energético Nacional (Balço de emissões, energia equivalente e final) de 19 para 15 setores econômicos.**

---

<b>1 - Agropecuária</b>	<b>9 - Alimentos e Bebidas</b>
AGROPECUÁRIO	ALIMENTOS E BEBIDAS
<b>2 - Extrativa Mineral</b>	<b>10 - Comércio e Serviços</b>
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	COMERCIAL
<b>3 - Minerais não metálicos</b>	<b>11 - Transportes</b>
CERÂMICA	TRANSPORTES RODOVIÁRIO
<b>4 - Siderurgia</b>	TRANSPORTES FERROVIÁRIO
FERRO GUSA E AÇO	TRANSPORTES AÉREO
FERRO LIGAS	TRANSPORTES HIDROVIÁRIO
<b>5 - Met não ferrosos e outros metal</b>	<b>12 - Administração Pública</b>
NÃO FERROSOS E OUT. METALURG.	PÚBLICO
<b>6 - Papel e Celulose</b>	<b>13 - Outros Setores</b>
PAPEL E CELULOSE	OUTRAS INDÚSTRIAS
<b>7 - Química</b>	<b>14 - Cimento</b>
QUÍMICA	CIMENTO
<b>8 - Têxtil</b>	<b>15 - Setor energético</b>
TÊXTIL	SETOR ENERGÉTICO

---