

Efeitos Tecnológicos e Estruturais nas Emissões Brasileiras de CO₂ para o Período 2000 a 2005: Uma Abordagem de Análise de Decomposição Estrutural (SDA)[♦]

Marcos Paulo Novais Silva

Mestre em Economia Aplicada PPGA (FE/UFJF)
Faculdade de Economia - Universidade Federal de Juiz de Fora - Martelos
Juiz de Fora - MG - CEP 36036-330
E-mail: marcospnovais@gmail.com

Fernando Salgueiro Perobelli

Professor - PPGA (FE/UFJF)
Faculdade de Economia - Universidade Federal de Juiz de Fora - Martelos
Juiz de Fora - MG - CEP 36036-330
E-mail: fernando.perobelli@ufjf.edu.br

Recebido em 06 de janeiro de 2011. Aceito em 24 de fevereiro de 2012.

Resumo

Este artigo objetiva mensurar a influência de mudanças na estrutura produtiva sobre as 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 as mudanças tanto tecnológicas quanto no processo produtivo em termos setoriais. As emissões setoriais foram obtidas junto ao balanço de emissões, energias equivalente e final, e as matrizes IBGE de insumo-produto são provenientes do Sistema de Contas Nacionais do IBGE, ambas para os anos de 2000 e 2005, sendo adaptadas 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 a variação na demanda final, enquanto os setores indústria do cimento, de minerais não metálicos e papel e celulose se destacam por redução de emissões devido à mudança tecnológica.

Palavras-Chave

emissões, insumo-produto, decomposição

Abstract

The aim of this paper is the measurement of the changes in productive structure upon 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

[♦] Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG, CNPq e UFJF para a realização deste trabalho.

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.

Keywords

emissions, input-output, decomposition

JEL Classification

C67, O53

1. Introdução

O Brasil é o 18º maior emissor mundial de CO₂ (dióxido de carbono) e de acordo com projeções do IPCC a média de crescimento das emissões brasileiras, no período de 2010 a 2030, será de 2,3% ao ano. Este valor está mais próximo a países como México (2,1%), Índia (2,5%) e China (3,3%) do que Estados Unidos (0,5%), Japão (-0,2%) e Coreia do Sul (1,3%). Outros indicadores como emissões *per capita* e por área demonstram reduzida contribuição do Brasil nas emissões mundiais, se comparado a outros países. A taxa de emissão *per capita* brasileira é de 1,5 toneladas por habitante; a China, Índia, Japão, EUA e comunidade Europeia contribuem com 2.2, 10.9, 8.9, 17.9 e 8.1, respectivamente. Com relação à taxa de emissão por área, o Brasil é aquele que menos polui dentre estes seis países com taxa de 121 toneladas por quilômetro quadrado. (INCT, 2010)

Akbostancı *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. Dentre todos os gases causadores do efeito estufa, o CO₂ é responsável por aproximadamente 60% da ocorrência deste fenômeno. Foram realizadas 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.¹

¹ Também chamada de Eco-92, ou Rio-92.

Em 1997 foi celebrado, com o compromisso de 37 países desenvolvidos, o protocolo de Kyoto. Na Conferência de Kyoto os países foram divididos em dois grupos: países do anexo I (Membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE – e países da Europa com economia em transição, incluindo Rússia) e países fora do anexo I. Os países do anexo I deveriam reduzir suas emissões em pelo menos 5% abaixo do nível de 1990, durante o período de 2008 a 2012, sendo que para a União Europeia a redução é de 8%, para EUA 7% e Japão 6%. Para os países fora do anexo I não foram estipuladas as metas. (Tourinho *et al.*, 2003)

Alguns trabalhos contribuíram para a discussão de redução de emissões, como: a) efeitos da evolução tecnológica e impacto sobre emissões (Casler e Rose, 1998); b) identificação de setores-chave no que diz respeito à emissão (Carvalho e Perobelli, 2009); c) resultado de política de taxações sobre emissões (Labandeira e Labeaga, 2002); e d) impacto dos componentes da demanda final nas emissões (Hoekstra e Van Den Bergh, 2002).

Machado *et al.* (2001) destacam que a maior parte do que é produzido na economia está direta ou indiretamente associado ao uso de energia e conseqüentemente às emissões de poluentes. A indústria automobilística, por exemplo, ao produzir carros, emite uma quantidade de poluentes (emissão direta). Além dessa, é necessário contabilizar também a emissão daquelas indústrias que forneceram insumos à indústria automobilística (emissão indireta). E ao aplicar a técnica de insumo-produto é possível traçar o uso de energia e emissões, tanto diretas quanto indireta, associadas à produção de uma indústria. (Leontief e Ford, 1986)

Em Leontief (1970) já havia a preocupação em incorporar externalidades dentro de um modelo convencional de insumo-produto e também em demonstrar que os cálculos convencionais de insumo-produto podem produzir respostas concretas para questões fundamentais ligadas a efeitos ambientais.

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 ecológico-econômicos, que incorporam commodities ecológicas que são insumos ou resíduos do processo produtivo (dessa forma o modelo IP conta com submatrizes que permitem transações dentro e entre os setores ecológico e econômico; e 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. Todavia, os autores enfatizam a dificuldade de se encontrar modelos que aplicam as categorias **b** e **c** por causa, principalmente, da indisponibilidade de dados. A categoria **a** é, portanto, mais utilizada na literatura.

Hawdon e Pearson (1995) propõem uma segunda classificação de modelos I-P. Nessa classificação os modelos são diferenciados de acordo com o objetivo do estudo. Os modelos podem ser focados em: a) estratégia e problemas de políticas, exemplos seriam Cruz e Barata (2007) e Hoekstra e Jansenn (2006); b) cálculo de 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 mudanças nos preços, exemplificado por Labandeira e Labeaga (2002); e e) mudanças tecnológicas e eficiência energética, um exemplo seria Bhutto e Cagathai (2008) e Wachsmann (2005). 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. Dentro da classificação anteriormente citada este método tem ligações com os modelos de avaliação de mudanças tecnológicas e eficiência energética (classificação *e*). 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.

A adequação da análise de decomposição estrutural para entender questões relacionadas ao meio ambiente pode ser percebida, em parte, pelo número de trabalhos que utilizam tal técnica para avaliar tais questões. Nesses trabalhos é possível também observar o avanço com relação ao uso do método SDA. Importante ressaltar que não

é objetivo deste trabalho fazer uma resenha completa dos trabalhos que abordam tal temática, mas sim elencar, de forma breve, algumas das contribuições para o tema e para a metodologia.

Assim sendo, o trabalho de Leontief e Ford (1971) utilizam um modelo híbrido de insumo-produto ambiental para projetar as emissões para a economia dos Estados Unidos. No trabalho de Common e Salma (1992) as emissões de CO₂ na Austrália são decompostas por famílias e por tipo de indústria. A mesma decomposição é implementada por Proops *et al.* (1994) para as economias do Reino Unido e Alemanha. Dentro da mesma estrutura de decomposição encontra-se o trabalho de Wier (1998). Entretanto o autor faz a decomposição para 25 tipos de energia. Chung (1998) utiliza a análise de decomposição estrutural para fazer uma comparação entre países em detrimento de uma comparação intertemporal. Hoekstra e Van den Bergh (2002) ressaltam a importância do método SDA e as evoluções da aplicação deste método na área de meio ambiente. Hoen (2003) implementa a decomposição estrutural para verificar se variações tecnológicas diminuem as emissões de CO₂ e para verificar se o aumento das emissões está ligado, principalmente, ao crescimento econômico. Para a economia brasileira é possível destacar o trabalho de Morais *et al.* (2006) e de Wachsmann (2005). Morais *et al.* (2006) buscam verificar quais fatores mais influenciaram a emissão de CO₂ para o Brasil durante os anos 1990 a 2003. Wachsmann (2005) faz uma avaliação dos resultados do método de decomposição estrutural frente às mudanças econômicas e de política energética ocorridas na economia brasileira entre 1970 e 1996.

Este trabalho objetiva decompor e mensurar quanto da variação nas emissões de dióxido de carbono advém dos componentes de demanda final e do avanço tecnológico. Para tanto, foi utilizada uma extensão do modelo de insumo-produto chamada de análise de decomposição estrutural.² As vantagens da incorporação do modelo de insumo-produto dizem respeito à desagregação setorial dos resultados, bem como a possibilidade de considerar os efeitos diretos e indiretos das emissões de alguns setores sobre os demais.

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma: o método de análise de decomposição estrutural é apresentado na seção 2; a seção 3 mostra a origem dos dados e faz uma análise explora-

² SDA (Structural Decomposition Analysis).

tória da base de dados utilizada no trabalho; a seção 4 contém os resultados divididos por tipo de efeito; a seção 5 traz a discussão dos resultados tomando por base a evolução das políticas de mitigação e, na seção 6, as conclusões são apresentadas.

2. Metodologia

2.1 Modelos de Análise de Decomposição Estrutural (SDA- Structural Decomposition Analysis)

Rose (2002) ressalta que mudanças nos padrões de uso de energia e emissão de poluentes são influenciadas por muitos fatores como eventos sociopolíticos, mudanças comportamentais, inovações tecnológicas, escassez de recursos e ações do governo. Por exemplo, um aumento por parte da OPEP nos preços do petróleo pode levar a um efeito substituição entre combustíveis e, por consequência, a adoção de tecnologias poupadoras de energia, acelerando assim o declínio da intensidade de uso de energia não renovável na indústria. Outro exemplo seria a imposição de uma taxa sobre a emissão de carbono pelo governo, que pode levar a uma substituição de combustíveis fósseis por combustíveis mais limpos. A importância da utilização do método SDA é exatamente quantificar, ou medir, este tipo de variação citado anteriormente.

O método de análise de decomposição (DA),³ quando utilizado em conjunto com os modelos de insumo-produto, passam a ser denominados SDA. Os modelos de SDA são capazes de detalhar a decomposição das mudanças tecnológicas e de demanda, por utilizar as matrizes de insumo-produto. (Hoekstra e Van Den Bergh, 2002)

O método I-O SDA é uma ferramenta alternativa para analisar as respostas do nível de produção às mudanças no sistema produtivo e quantidade de insumos. O método é capaz de fornecer resultados no mesmo nível de detalhes das formulações neoclássicas KLEM (*Capital, labour, energy and material aggregates*) (Rose, 2002). O I-O SDA é um método de estática comparativa, utilizado para mensurar as mudanças estruturais na economia. O método baseia-se na ideia de que as mudanças, no tempo de alguma variável, podem ser de-

³ Método de estática comparativa que permite decompor o movimento de determinada variável.

compostas entre mudanças em suas próprias variáveis determinantes. (Dietzenbacher e Hoekstra, 2002)

O modelo básico de insumo-produto é:

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

Onde x é um vetor de valor bruto de produção, $B = (I - A)^{-1}$ é a inversa de Leontief, y é um vetor de demanda final e a matriz A é a matriz de coeficientes técnicos, também conhecida como matriz tecnológica, que define os requerimentos de insumos por unidade de produto de cada setor. A matriz I , por sua vez, é uma matriz identidade.

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

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

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

Uma decomposição da Equação (2) seria:

$$\Delta E = \underbrace{\Delta e \times B_0 \times y_0}_1 + \underbrace{e_1 \times \Delta B \times y_0}_2 + \underbrace{e_1 \times B_1 \times \Delta y}_3 \quad (3)$$

A Equação (3) mostra que a mudança no nível de emissão de CO₂ setorial pode ser decomposta 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 mede a influência de mudanças nos coeficientes de insumo-produto sobre as emissões. Ou seja, são mudanças na estrutura produtiva, como alterações nos tipos e quantidades de insumos, que podem levar a uma alteração no nível de emissão para produção de um determinado setor. O terceiro termo diz respeito ao efeito da demanda final, mensurando o efeito nas emissões setoriais dada uma variação no nível de demanda. Importante salientar que o segundo e

terceiro termos da Equação 3 serão detalhados nas próximas seções, uma vez que o efeito intensidade (componente 1) ocorre de forma simultânea ao efeito substituição (componente 2).

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,

$$\Delta E = \frac{1}{2}(\Delta e \times B_0 \times y_0 + \Delta e \times B_1 \times y_1) + \frac{1}{2}(e_1 \times \Delta B \times y_0 + e_0 \times \Delta B \times y_1) \\ \frac{1}{2}(e_1 \times B_1 \times \Delta y + e_0 \times B_0 \times \Delta y) \quad (4)$$

2.2. 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. Por eficiência entende-se que para um dado nível de produção há uma redução, ao máximo, da quantidade de insumos necessários/utilizados. A mudança na inversa de Leontief depende de mudanças na matriz de coeficientes técnicos A . Uma forma de analisar estes efeitos é a decomposição⁴ aditiva da matriz inversa de Leontief (Equação (5)). (Casler e Rose, 1998)

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

A Equação (5) mostra que as variações na inversa de Leontief (ΔB) provêm de variações na matriz de coeficientes técnicos (ΔA). Outra forma de tratar este mesmo problema é a utilização do Método RAS. Este método é muito utilizado para atualizar os coeficientes de insumo produto. O método RAS faz uso do total da linha e coluna da matriz de consumo intermediário 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)

⁴ 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)

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 os autores, dado que $\Delta B = B_o(\Delta A)B_1 = B_1(\Delta A)B_o$, a Equação (5) seria representada da seguinte forma,

$$\Delta L = \frac{1}{2} B_o(\Delta A)B_1 + \frac{1}{2} B_1(\Delta A)B_o \quad (6)$$

onde a atenção deve ser voltada para o componente ΔA , 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 (ΔA) 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 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 em que para produzir uma unidade de produto seja utilizado a mesma porcentagem a menos de cada insumo.

Todavia, se uma linha i de A_0 for multiplicada por r_i o resultado é diferente do anterior. Neste caso um processo de inovação implica que cada setor utilize menos de um determinado insumo intermediário. Assim sendo, poderia ocorrer de algum insumo passar a ser mais utilizado em detrimento aos outros. Por isso ele se classifica como 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 à verdadeira matriz de coeficiente técnico A_1 . A diferença entre elas é exatamente o terceiro componente da decomposição, a mudança na célula específica. As mudanças nas células específicas são mensuradas como se fossem 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). O método consiste em estimar a matriz de coeficientes técnicos de um ano alvo t^1 , utilizando a matriz de coeficiente técnico em t^0 e o valor das vendas e compras interindustriais de t^1 .

Normalmente na literatura utiliza-se U_i e V_i para representar respectivamente as vendas interindustriais e as compras interindustriais, ou seja, o somatório das linhas e colunas da matriz intermediária. (Souza e Perobelli, 2008)

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$V = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_n] \quad (10)$$

Para aplicar o método é necessário a matriz de coeficientes técnicos A_0 , o vetor coluna de vendas interindustriais U^1 e o vetor linha de compras interindustriais V^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 , os verdadeiros U^1 e V^1 , e o mesmo somatório para $\overline{CI}(1)$, representados pelos estimados $U(1)$ e $V(1)$, normalmente não são iguais. 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 dizer que os elementos da linha i são menores do que deveriam ser.

Para resolver este problema calcula-se a seguinte razão: $r_i^1 = U_i(1)/U_i^1$. Posteriormente multiplica-se cada elemento da linha l de A_0 por r_l^1 . Denotando $r_1^1 a_{11}(0) = a_{11}^1$, $r_1^1 a_{12}(0) = a_{12}^1$... $r_1^1 a_{1n}(0) = a_{1n}^1$. Essa nova mudança nos coeficientes constitui a primeira estimativa para alcançar o alvo U^1 . Faz-se um procedimento parecido para s_i^1 , utilizando $V_1(1)/V_1^1$, posteriormente multiplica-se cada elemento deste vetor por A_0 .

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

Por último utilizam-se os vetores r_i^1 e s_i^1 diagonalizados 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 a seguir,

$$\frac{1}{8} [B_0(\hat{r}-I)A_0(\hat{s}+I)B_1+B_1(\hat{r}-I)A_0(\hat{s}+I)B_0](e_1f_0+e_0f_1) \quad (14)$$

$$\frac{1}{8} [B_0(\hat{r}+I)A_0(\hat{s}-I)B_1+B_1(\hat{r}+I)A_0(\hat{s}-I)B_0](e_1f_0+e_0f_1) \quad (15)$$

$$\frac{1}{4} [B_0\varepsilon B_1+B_1\varepsilon B_0](e_1f_0+e_0f_1) \quad (16)$$

Os subscritos 1 e 0 representam tempo, o termo B é a inversa de Leontief, o termo A é a matriz de coeficientes técnicos, o termo e é o vetor de intensidade de emissão e o ε representa a matriz de diferenças entre a matriz estimada pelo método RAS e a verdadeira matriz para o ano 1 (ou termo de erro).

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

2.3. Decomposição das Mudanças Estruturais na Demanda Final

A demanda final é o termo usado para as categorias de demanda como as 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) descrevem a matriz de demanda final como uma multiplicação entre três fatores, assim como descrito na Equação (17). Na equação, L representa os elementos da demanda final divididos pela soma da coluna a 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.

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

Uma decomposição da Equação (17) ficaria desta forma:

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

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

Na Equação (18), o primeiro, o segundo e o terceiro termos 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 entre 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) é a Equação (18) na forma polar.

3. Base de Dados

Os dados de emissão setorial de CO₂ foram obtidos junto ao balanço de emissões, energia equivalente e final disponíveis para os anos de 1970 a 2006. Para este trabalho foram utilizados somente os dados de 2000 e 2005. O balanço de emissões é disponibilizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (2010) e Ministério de Minas e Energia (2010). As matrizes de insumo-produto brasileiras para os anos de 2000 e 2005 são disponibilizadas pelo IBGE (2008).

O Balanço de carbono, energia equivalente e final, apresenta as emissões de diversos gases causadores do efeito estufa. As emissões podem ser estratificadas por fonte ou por setores. Em termos setoriais a informação está desagregada em 17 setores.

No que tange à matriz de insumo-produto, o número de setores é igual a 55. Logo, foi necessária uma compatibilização desses dados para o mesmo nível de desagregação das emissões, ou seja, 15 setores. A forma como as bases de dados foram compatibilizadas se encontram nos Anexos I e II.

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis de emissão de dióxido de carbono, nível de produção e nível de emissão por produção.⁵ 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 à taxa de emissão por produção é possível identificar que os setores indústria do cimento, siderúrgico, transportes, e minerais não metálicos são os mais intensivos em emissão de CO₂.

Tabela 1 - Dados de Emissão e Produção Setorial: Brasil 2000-2005

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	22103	95761	194477	0.20	0.11
2 - Extrativa Mineral	5601	7166	27898	83337	0.20	0.08
3 - Minerais não metálicos	9492	10220	14418	25524	0.65	0.40
4 - Siderurgia	58933	67718	30472	97054	1.93	0.69
5 - Metalurgia não ferrosos e outros metais	6462	8105	12078	25263	0.53	0.32
6 - Papel e Celulose	17000	21048	66493	115048	0.25	0.18
7 - Química	14550	14982	110913	250425	0.13	0.05
8 - Têxtil	1555	1496	55891	85333	0.02	0.01
9 - Alimentos e Bebidas	35896	51426	123560	257295	0.29	0.19
10 - Comércio e Serviços	2649	2425	733853	1256615	0.00	0.00
11 - Transportes	125585	138850	92245	180897	1.36	0.76
12 - Administração Pública	2101	1723	227161	432870	0.00	0.00
13 - Indústria do Cimento	11721	10157	4440	6674	2.63	1.52
14 - Setor energético	34551	47610	75590	144942	0.45	0.32
15 - Outros Setores	9194	8830	332798	630917	0.02	0.01
Total	354825	413859	2003571	3786683	0,18	0,11

Fonte: Construído pelos autores a partir de dados do IBGE (2008) e Ministério da Ciência e Tecnologia - Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2010).⁶

4. Resultados

A Tabela 2 decompõe a variação nas emissões de CO₂, entre os anos de 2000 e 2005, nos efeitos intensidade, demanda final e tecnológi-

⁵ Calculada a partir da divisão das emissões setoriais pelo valor bruto de produção setorial.

⁶ Emissões em Gg/ano (Gigagrama, ou 10⁹ gramas de CO₂) e valor bruto de produção em milhões/ano de R\$.

co. Os resultados para o efeito intensidade mostram que todos os setores, no decorrer do tempo, reduziram a quantidade de emissões para a produção de uma mesma quantidade de produtos. Os setores de siderurgia e de transportes se destacaram em variação absoluta, com -78.828 Gg/ano e -81.105 Gg/ano. Com variações menores, mas não menos importantes, aparecem os setores agropecuária, química, alimentos e bebidas e energético.

O efeito de demanda final mede a variação nas emissões diante de mudanças no nível de demanda por produtos e serviços. Para este efeito os setores que mais se destacam, em variação absoluta, continuam sendo o siderúrgico e transportes, 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 3. Os setores de alimentos e bebidas e energético, por sua vez, possuem consumo diretamente ligado à demanda final.

Tabela 2 - Decomposição da Variação nas Emissões Totais de CO₂, Brasil, 2000-2005

Setores	Efeito Intensidade		Efeito demanda final		Efeito tecnológico		Parte não explicada (erro)		Total de variação nas emissões
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1 - Agropecuária	(13.108)	(0,59)	14.655	0,66	861	0,04	162	0,01	2.570
2 - Extrativa Mineral	(6.384)	(0,89)	5.926	0,83	1.574	0,22	449	0,06	1.565
3 - Minerais não metálicos	(5.151)	(0,50)	6.588	0,64	(616)	(0,06)	(93)	(0,01)	728
4 - Siderurgia	78.828	(1,16)	61.627	0,91	19.448	0,29	6.538	0,10	8.785
5 - Met não ferrosos e outros metais	(3.999)	(0,49)	5.571	0,69	68	0,01	3	0,00	1.643
6 - Papel e Celulose	(6.601)	(0,31)	11.312	0,54	(609)	(0,03)	(54)	(0,00)	4.048
7 - Química	(12.892)	(0,86)	10.737	0,72	2.067	0,14	520	0,03	432
8 - Têxtil	(727)	(0,49)	698	0,47	(27)	(0,02)	(3)	(0,00)	(59)
9 - Alimentos e Bebidas	(17.261)	(0,34)	31.252	0,61	1.365	0,03	174	0,00	15.530
10 - Comércio e Serviços	(1.672)	(0,69)	1.499	0,62	(44)	(0,02)	(7)	(0,00)	(224)

(Continuação)

Gg/ano

Setores	Efeito Intensidade		Efeito demanda final		Efeito tecnológico		Parte não explicada (erro)		Total de variação nas emissões
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
11 - Transportes	(81.105)	(0,58)	85.137	0,61	7.770	0,06	1.463	0,01	13.265
12 - Administração Pública	(1.739)	(1,01)	1.371	0,80	(8)	0,00	(2)	(0,00)	(378)
13 - Ind Cimento	(6.215)	(0,61)	7.176	0,71	(2.163)	(0,21)	(363)	(0,04)	(1.565)
14 - Setor energético	(14.181)	(0,30)	24.526	0,52	2.483	0,05	231	0,00	13.059
15 - Outros Setores	(6.569)	(0,74)	5.839	0,66	301	0,03	64	0,01	(365)
Total	(256.432)	(0,62)	273.914	0,66	32.470	0,08	9.082	0,02	59.034

Fonte: Resultados da pesquisa.

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

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

Na Tabela 3 estão dispostos os resultados para a decomposição do efeito tecnológico. 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 2, é caracterizado por alterações nas linhas de magnitude igual a r (multiplicador do método RAS). Este efeito mede mudanças no nível de emissões de determinado setor devido a alterações na estrutura de insumos. Nessas alterações alguns insumos passam a ser mais utilizados do que outros, causando um efeito do tipo substituição. Os setores siderúrgico e transporte destacam-se com variação positiva nas emissões. Esse resultado significa que estes setores tiveram mudanças na estrutura de insumos produtivos e passaram a consumir insumos mais intensivos em emissão. Em contraste a estes, com redução de emissão, aparecem os setores energético, extrativa mineral e agropecuária.

O efeito intensidade corresponde a uma variação nas emissões devido à redução por parte de uma determinada indústria na utilização de todos os insumos de produção. O setor siderúrgico tem a variação positiva mais expressiva (17010 Gg/ano), juntamente com os setores energético e de transportes. Para estes setores houve um aumento na utilização de insumos produtivos que determinou um aumento nas emissões. 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. Para estes setores verifica-se que houve uma redução na quantidade de insumos utilizados no processo produtivo que contribuiu para uma redução nas emissões. 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.

Tabela 3 - Decomposição da Variação nas Emissões de CO₂ Relativas ao Efeito Tecnológico, Brasil, 2000-2005

Setores	Gg/ano						Total de Efeitos Tecnológicos
	Efeito Substituição		Efeito Intensidade		Mudança Específica na Célula		
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1- Agropecuária	-224	-0,26	1359	1,58	-274	-0,32	861
2- Extrativa Mineral	-449	-0,29	1622	1,03	401	0,25	1574
3- Minerais não metálicos	480	-0,78	794	-1,29	-1889	3,07	-616
4- Siderurgia	1079	0,06	17010	0,87	1360	0,07	19448
5- Met não ferrosos e outros metais	118	1,74	-1554	-22,85	1504	22,11	68
6- Papel e Celulose	455	-0,75	-1264	2,08	200	-0,33	-609
7- Química	7	0,00	2491	1,21	-430	-0,21	2067
8- Têxtil	33	-1,23	-32	1,19	-28	1,02	-27
9- Alimentos e Bebidas	79	0,06	1839	1,35	-553	-0,40	1365
10- Comércio e Serviços	33	-0,75	-72	1,64	-5	0,11	-44
11- Transportes	2028	0,26	2268	0,29	3473	0,45	7770
12- Administração Pública	1	-0,11	-7	0,88	-2	0,20	-8
13- Ind Cimento	523	-0,24	-77	0,04	-2609	1,21	-2163
14- Setor energético	-754	-0,30	4319	1,74	-1082	-0,44	2483
15- Outros Setores	127	0,42	57	0,19	116	0,39	301
Total	3535	0,11	28753	0,89	183	0,01	32470

Fonte: Resultados da pesquisa.

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

O terceiro efeito tecnológico avaliado, chamado de mudança específica na célula, é aquele que não é possível explicar por mudanças na linha ou coluna, ou seja, um resíduo da equação. No que tange à redução de emissões, a indústria de cimento, minerais não metálicos e energético apresentaram resultados expressivos, ou seja, diminuição 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 CO₂.

No geral, é possível inferir que somente a indústria do cimento, minerais não metálicos e papel e celulose obtiveram redução em suas emissões de CO₂ decorrentes de mudança tecnológica.

Na Tabela 4 é feita uma análise mais detalhada do efeito demanda final indicado anteriormente. Nela o efeito demanda final 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 a Equação (18) da seção 2. 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-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 elucidativo 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 os setores que mais se destacam 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.

O efeito variação no nível geral de demanda final representa a variação nas emissões advindas do crescimento na demanda final como

um todo. É interessante notar que para este efeito as variações nas emissões de todos os setores foram positivas. Ou seja, o próprio crescimento da economia gera um aumento de emissões em todos os setores brasileiros. Os 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 efeito é aquele que concentra a maior parte do efeito total de demanda final, fato evidenciado através da análise das colunas de participação dos efeitos. Esse mostra a importância que o crescimento econômico tem sobre o aumento de emissões.

Tabela 4 - Decomposição da Variação nas Emissões de CO₂ Relativas ao Efeito Demanda Final, Brasil, 2000-2005

Setores	Efeito Combinação de Produtos		Efeito Categoria		Efeito Crescimento da Demanda Final		Efeito Total
	Efeito	%	Efeito	%	Efeito	%	
1- Agropecuária	964	0,07	473	0,03	13217	0,90	14654
2- Extrativa Mineral	1679	0,28	103	0,02	4144	0,70	5926
3- Minerais não metálicos	-298	-0,05	617	0,09	6269	0,95	6588
4- Siderurgia	7819	0,13	11472	0,19	42337	0,69	61628
5- Met não ferrosos e outros metais	-120	-0,02	1102	0,20	4589	0,82	5571
6- Papel e Celulose	-1520	-0,13	1050	0,09	11782	1,04	11312
7- Química	538	0,05	650	0,06	9549	0,89	10737
8- Têxtil	-255	-0,37	-12	-0,02	965	1,38	698
9- Alimentos e Bebidas	4434	0,14	65	0,00	26753	0,86	31252
10- Comércio e Serviços	-57	-0,04	-78	-0,05	1634	1,09	1500
11- Transportes	1998	0,02	-437	-0,01	83576	0,98	85137
12- Administração Pública	30	0,02	69	0,05	1272	0,93	1371
13- Indústria do Cimento	35	0,00	-15	0,00	7155	1,00	7175
14- Setor energético	-425	-0,02	-140	-0,01	25090	1,02	24525
15- Outros Setores	-9	0,00	36	0,01	5812	1,00	5839
Total	14813	0,05	14955	0,05	244144	0,89	273912

Fonte: Resultados da pesquisa.

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

5. Contextualização dos Resultados

Os resultados setoriais encontrados no presente artigo podem estar diretamente relacionados ao processo de implementação de políticas de mitigação no País. É importante ressaltar que no Brasil, nas décadas de 1970 e 1980, não havia de forma explícita políticas de mitigação. Na realidade, no Brasil existiram diversas ações, que não foram realizadas de forma encadeada, mas que podem ter afetado o comportamento da produção setorial, uso de insumos, hábitos de consumo da sociedade brasileira e que, portanto, atualmente, impactam o comportamento das emissões no período analisado no artigo.

Portanto, para melhor entender os resultados apresentados neste trabalho é importante verificar que tipo de política pública foi adotada no Brasil e que puderam impactar positivamente na redução da intensidade de emissões setoriais. As políticas e ações que se relacionam ao processo de mitigação das emissões permeiam questões como: a) economia de energia; b) busca por combustíveis alternativos; c) uso eficiente de combustíveis no sistema de transporte; d) ações relativas ao processo de desmatamento; dentre outros.

De acordo com Wachsmann (2005) é possível afirmar que na década de 1980 o Brasil já tinha ações que visavam minimizar questões relativas às mudanças climáticas. Importante ressaltar que tais ações tinham por objetivo a economia de energia e a busca de alternativas ao petróleo. Mesmo não tendo como objetivo principal a mitigação das emissões, tais medidas foram eficazes na diminuição das mesmas.

Em relação às ações que buscam a diminuição ou o uso mais eficiente de energia é possível destacar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, que foi criado em 1985 e tinha como objetivo inicial minimizar as perdas de energia tanto no processo de transmissão quanto no de geração. Em 1994 o programa foi ampliado e passou a promover ações junto ao setor produtivo para otimizar o uso da energia como, por exemplo, as ações voltadas para o consumidor por meio da exigência da etiqueta de consumo de energia nos eletrodomésticos. Este tipo de ação visava modificar a cultura de consumo dos indivíduos induzindo o consumo de bens mais econômicos do ponto de vista energético. As ações direcionadas à administração pública por meio de políticas de redução do consumo de

prédios públicos e pela promoção do uso de fontes de iluminação pública mais eficientes também se encontram no escopo do PROCEL.

No que tange à busca por alternativas ao petróleo é importante salientar o programa de combustível alternativo, ou seja, o Programa Nacional do Álcool – PROALCOOL – que data de 1975. O referido programa foi planejado para gerar energia alternativa ao petróleo por meio da produção do etanol tendo como insumo a cana-de-açúcar. A produção de álcool a partir da cana-de-açúcar permite diminuir a dependência de um recurso não renovável (e.g. petróleo) e influencia na emissão de gases de efeito estufa uma vez que os motores movidos a etanol são menos emissores de gases.

Outro programa criado pelo poder público com o intuito de diminuir a demanda por petróleo foi o Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo – CONPET. Tal programa foi criado em 1991 e tinha por objetivo diminuir a demanda brasileira por este recurso não renovável. As ações desse programa passaram pela melhoria dos motores a diesel. Dada a matriz de transporte brasileira centrada no transporte rodoviário de carga e de passageiros este tipo de ação teria impactos positivos tanto na conservação de energia quanto nas emissões de poluentes.

No período mais recente – pós Convenção de Mudanças Climáticas - é possível afirmar que há uma preocupação sistematizada em todos os níveis de governo com a questão climática. Dentre as preocupações e ações é possível evidenciar, em nível nacional, a maior preocupação com a redução do desmatamento. Na esfera estadual é possível elencar a existência de uma Política Estadual de Mudanças Climáticas em São Paulo que permite estabelecer ações para minimizar os efeitos do aquecimento no estado, bem como prever situações que podem afetar a população e a dinâmica econômica do estado. No âmbito municipal evidenciam-se as ações da Prefeitura de São Paulo no sentido de incentivar o transporte solidário e o uso de energia alternativa em edificações. (MCT, 2010)

Neste contexto, de ações sistematizadas, insere-se o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – PNBB, criado em 2005. O referido programa tem como principal objetivo a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Tal inserção segue o se-

guinte cronograma: 2% depois de três anos da publicação da Lei que regulamentou o PNPB e 5% oito anos após a divulgação da Lei.

Segundo informações do IPCC a maior fonte brasileira de emissão de gases de efeito estufa é o desmatamento. Dados de 2010 apontam que cerca de 4% das emissões globais são provenientes do Brasil. Dessas emissões, 75% são originárias da mudança de uso do solo (e.g. desmatamento) e 25% da queima de combustíveis fósseis.

As ações nesse campo, por parte do governo federal, são tomadas dentro do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônica Legal. Tal programa já teve efeitos benéficos que estão dimensionados numa redução de 59% na taxa acumulada de desmatamento da Amazônia, entre 2004 e 2007. Dentro das ações do governo para minimizar o desmatamento é possível destacar os seguintes programas: a) operação “boi pirata” – apreensão de gado criado em terras não legalizadas e corte de crédito a tais produtores; b) criação do Instituto Chico Mendes para conservação da biodiversidade; e c) Ampliação do Programa de Áreas Protegidas da Amazônia. (Arpa) (INCT, 2010)

6. Conclusões

O trabalho decompõe as variações no nível de emissões de dióxido de carbono entre diversos tipos de efeitos. O processo permite identificar aqueles setores cuja ocorrência de mudanças na estrutura produtiva ou o que chamamos de mudanças tecnológicas, identificadas como sendo mudanças na quantidade de insumos utilizados, permitiu uma redução no nível de emissões de dióxido de carbono. Outra questão seria identificar os setores cuja emissão de dióxido de carbono aumenta consideravelmente conforme o crescimento dos gastos das famílias, governo e exportações ou o próprio crescimento econômico.

Os principais resultados indicam que: a) no geral os setores de siderurgia e transportes são aqueles que se mostraram mais propensos ao 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 a média; b) no que tange ao efeito intensidade é importante salientar

que os setores siderurgia e transporte mostraram uma considerável redução nas emissões por produto; c) no que se refere à redução de emissões devido à mudança tecnológica, os setores que se destacam são a indústria do cimento, de minerais não metálicos e papel e celulose; d) vale destacar que alterações no nível de demanda final, que podem ser via crescimento econômico produzem, na maior parte das vezes, variações positivas no nível de emissões. No que se refere às variações no nível de demanda é necessária atenção maior sobre os setores de transportes, siderurgia e alimentos e bebidas. Para estes setores uma variação no nível de demanda implica variações consideravelmente superiores aos demais nas emissões.

Os resultados podem auxiliar a tomada de decisão do formulador de políticas públicas, que procura atender às expectativas de crescimento econômico e ao mesmo tempo de sustentabilidade ambiental. O processo de crescimento sustentando do ponto de vista ambiental tem ganhado espaço após as diversas conferências e protocolos sobre o tema (e.g. Protocolo de Kyoto). Assim sendo, é possível elencar algumas políticas que vêm sendo discutidas e implementadas para a redução das emissões. No setor agricultura e pecuária a principal ação seria a melhoria do manejo do solo com o intuito de armazenar mais carbono no solo. Exemplos de melhorias nesse sentido podem ser: a) integração da pecuária com a lavoura; b) utilização de sistemas agroflorestais e c) incentivo do plantio direto.

Em relação às políticas e ações para o setor de transporte é possível observar a tendência de uso mais eficiente dos combustíveis nos veículos que passam pela ideia dos veículos híbridos, veículos a diesel mais limpos, por meio do biocombustível, mudanças nos modais de transporte, priorizando o modal ferroviário em detrimento do modal rodoviário e melhorias no sistema de transporte público.

A análise de decomposição estrutural é um método de estática comparativa, que herda do método de insumo-produto uma função produção com retornos constantes e estrutura de proporções fixas de insumos. Esses são três 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

- Akbostanci, E.; Tunç, G. I.; Türüt-Aık, 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.; Cagathai, 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.
- 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 CO₂: 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.
- Hawdon, D.; Pearson, P. Input-Output Simulations of Energy, Environment, Economy, Interactions in the UK. *Energy Economics*, v. 17, n.1, 1995.
- Hoekstra, R.; Janssen, M. A. Environmental Responsibility and Policy in a Two Country Dynamic Input-Output Model. *Economic System Research*, v. 18, n. 1, 2006.
- Hoekstra, R.; Van Den Bergh, J.C.J.M. Structural decomposition analysis of physical flows in the economy. *Environmental and resources economics*, n. 23, p.357-378, 2002.
- Hoen, A. A decomposition analysis of the emission of CO₂. In. 43rd European Congress of the Regional Science Association, Jyväskylä, 2003.
- INCT para Mudanças Climáticas, 2009-2010, Relatório de Atividades – São José dos Campos, 2010.
- IBGE-CONTAS NACIONAIS NÚMERO 23. MATRIZ DE INSUMO-PRODUTO 2000/2005. IBGE, 2008.
- Labandeira, X.; Labeaga, J. M. Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. *Energy policy*, n.30, p.597-611, 2002.
- Lenzen.; M. Pade, L. Munksgaard, J. CO₂ Multipliers in Multi-region Input-Output Models. *Economic Systems Research*, v. 16, n. 4, 2008.
- 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.
- Machado, G.; Schaeffer, R.; Worrell, E. Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil: An Input-Output Approach. *Ecological Economics*, v. 39, p. 409-424, 2001.

- Miller, R. E.; Blair, P. D. *Input-output analysis: foundations and extensions*. New Jersey, Prentice Hall, 1985.
- MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. INVENTÁRIO DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA, MCT (2010). http://ecen.com/eee75/eee75p/inventario_emissoes_brasil.pdf.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, MME, 2010.
- 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.
- Tourinho, O. A. F.; R. S. Motta e Y. L. B. Alves. *Uma Aplicação Ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral*. TEXTO PARA DISCUSSÃO 976. Brasília: IPEA, 2003.
- 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.
- Wachsmann, U. Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996 – uma análise de decomposição. VIII, 207 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2005) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- 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

Anexo I - Matriz Insumo-Produto IBGE de 55 Setores para 15 Setores Econômicos

1. Agropecuária Agricultura, silvicultura, exploração florestal Pecuária e pesca	11. Transportes Transporte, armazenagem e correio
2. Extrativa Mineral Petróleo e gás natural Outros da indústria extrativa	12. Administração Pública Educação Pública Saúde Pública Administração pública e seguridade social
3. Minerais não metálicos Outros produtos de minerais não metálicos	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 equipamento de comunicação Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e ópticos 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
4. Siderurgia Minério de ferro Fabricação de aço e derivados	14. Cimento Cimento
5. Met, não ferrosos e outros metal Metalurgia de metais não ferrosos	15. Setor Energético Eletricidade Álcool Gás encanado
6. Papel e Celulose Celulose e produtos de papel Jornais, revistas, discos Artigos de borracha e plástico	
7. Química Produtos do fumo Refino do 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 de 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	

Fonte: IBGE (2008) e MME (2010).

Anexo II - Balanço Energético Nacional (Balanço de Emissões, Energia Equivalente e Final) de 19 para 15 Setores Econômicos

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

Fonte: MME (2010).

Anexo III - Matrizes de Coeficientes Técnicos (2000 e 2005)

A	Agropecuária	Extrativa Mineral	Minerais não metálicos	Siderurgia	Metão ferrosos e outros metal	Papel e Celulose	Química	Têxtil	Alimentos e Bebidas	Comércio e Serviços	Transportes	Administração Pública	cimento	setor energético	Outros Setores
1 - Agropecuária	0,0821	0,0005	0,0064	0,0007	0,0006	0,0185	0,0133	0,0174	0,3404	0,0023	0,0000	0,0013	0,0000	0,0489	0,0034
2 - Extrativa Mineral	0,0062	0,0264	0,0767	0,0225	0,0289	0,0016	0,1784	0,0003	0,0006	0,0001	0,0000	0,0001	0,0125	0,0085	0,0052
3 - Minerais não metálicos	0,0006	0,0021	0,0374	0,0060	0,0050	0,0007	0,0023	0,0005	0,0029	0,0007	0,0001	0,0008	0,0166	0,0003	0,0296
4 - Siderurgia	0,0004	0,0028	0,0128	0,1488	0,0206	0,0029	0,0009	0,0001	0,0007	0,0001	0,0000	0,0001	0,0147	0,0001	0,0395
5 - Metão ferrosos e outros metal	0,0003	0,0034	0,0068	0,0191	0,1048	0,0038	0,0010	0,0002	0,0007	0,0002	0,0001	0,0001	0,0048	0,0011	0,0148
6 - Papel e Celulose	0,0036	0,0109	0,0121	0,0099	0,0199	0,1589	0,0126	0,0238	0,0258	0,0243	0,0196	0,0055	0,0266	0,0057	0,0342
7 - Química	0,1013	0,0296	0,0817	0,0430	0,0573	0,1428	0,2308	0,0460	0,0150	0,0060	0,0891	0,0107	0,0600	0,0240	0,0383
8 - Têxtil	0,0018	0,0056	0,0085	0,0002	0,0001	0,0054	0,0022	0,2535	0,0006	0,0044	0,0047	0,0011	0,0037	0,0005	0,0040
9 - Alimentos e Bebidas	0,0616	0,0009	0,0014	0,0006	0,0008	0,0021	0,0051	0,0233	0,1544	0,0199	0,0008	0,0084	0,0005	0,0054	0,0033
10 - Comércio e Serviços	0,0456	0,1133	0,1313	0,1194	0,0806	0,1157	0,0820	0,1027	0,1050	0,1804	0,1764	0,1875	0,1476	0,0878	0,1190
11 - Transportes	0,0231	0,0902	0,0378	0,0624	0,0440	0,0307	0,0279	0,0256	0,0441	0,0200	0,0860	0,0098	0,1022	0,0119	0,0273
12 - Administração Pública	0,0011	0,0046	0,0031	0,0037	0,0038	0,0036	0,0019	0,0016	0,0026	0,0034	0,0034	0,0025	0,0051	0,0054	0,0020
13 - cimento	0,0002	0,0026	0,0552	0,0002	0,0007	0,0000	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0313	0,0000	0,0090
14 - setor energético	0,0059	0,0322	0,0576	0,0569	0,1138	0,0278	0,0567	0,0201	0,0193	0,0126	0,0046	0,0178	0,0565	0,2173	0,0153
15 - Outros Setores	0,0217	0,1001	0,0640	0,0597	0,0677	0,0300	0,0280	0,0171	0,0279	0,0240	0,0428	0,0429	0,0432	0,0222	0,1368

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Matriz de Insumo-produto para o ano de 2000.

(Continuação)

Anexo III - Matrizes de Coeficientes Técnicos (2000 e 2005)

A	Agropecuária	Extrativa Mineral	Minerais não metálicos	Siderurgia	Met não ferrosos e outros metal	Papel e Celulose	Química	Têxtil	Alimentos e Bebidas	Comércio e serviços	Transportes	Administração Pública	cimento	setor energético	Outros Setores
1 - Agropecuária	0,0859	0,0002	0,0048	0,0005	0,0003	0,0313	0,0184	0,0315	0,3429	0,0021	0,0000	0,0011	0,0000	0,0311	0,0049
2 - Extrativa Mineral	0,0051	0,0426	0,0469	0,0130	0,0341	0,0012	0,2134	0,0003	0,0004	0,0001	0,0000	0,0001	0,0077	0,0289	0,0032
3 - Minerais não metálicos	0,0007	0,0039	0,0427	0,0059	0,0054	0,0006	0,0022	0,0007	0,0025	0,0009	0,0000	0,0008	0,0205	0,0003	0,0252
4 - Siderurgia	0,0003	0,0032	0,0163	0,1710	0,0438	0,0051	0,0009	0,0001	0,0007	0,0000	0,0000	0,0001	0,0284	0,0000	0,0636
5 - Met não ferrosos e outros metal	0,0005	0,0054	0,0046	0,0230	0,0388	0,0033	0,0008	0,0002	0,0009	0,0005	0,0001	0,0002	0,0058	0,0010	0,0151
6 - Papel e Celulose	0,0039	0,0071	0,0139	0,0100	0,0201	0,1352	0,0119	0,0154	0,0233	0,0227	0,0204	0,0051	0,0387	0,0050	0,0375
7 - Química	0,1398	0,0362	0,0842	0,0453	0,0742	0,1742	0,2024	0,0465	0,0158	0,0080	0,1363	0,0133	0,0896	0,0275	0,0424
8 - Têxtil	0,0020	0,0039	0,0085	0,0001	0,0001	0,0077	0,0025	0,2555	0,0004	0,0040	0,0043	0,0003	0,0044	0,0004	0,0025
9 - Alimentos e Bebidas	0,0721	0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0023	0,0075	0,0289	0,1677	0,0199	0,0011	0,0086	0,0005	0,0046	0,0031
10 - Comércio e Serviços	0,0538	0,1302	0,1175	0,1096	0,0752	0,1048	0,0771	0,1042	0,0967	0,1638	0,1287	0,2089	0,1352	0,0784	0,1108
11 - Transportes	0,0205	0,1008	0,0310	0,0665	0,0418	0,0285	0,0259	0,0227	0,0466	0,0222	0,0835	0,0083	0,0927	0,0168	0,0262
12 - Administração Pública	0,0007	0,0045	0,0029	0,0027	0,0030	0,0025	0,0016	0,0015	0,0021	0,0026	0,0029	0,0025	0,0042	0,0054	0,0015
13 - cimento	0,0000	0,0044	0,0487	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0349	0,0000	0,0067
14 - setor energético	0,0055	0,0417	0,0805	0,0500	0,0979	0,0349	0,0466	0,0286	0,0208	0,0151	0,0151	0,0162	0,0793	0,2034	0,0168
15 - Outros Setores	0,0204	0,0969	0,0550	0,0662	0,0662	0,0299	0,0232	0,0145	0,0226	0,0237	0,0514	0,0441	0,0469	0,0200	0,1611

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Matriz de Insumo-produto para o ano de 2005.