

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – CCSA
CURSO DE MESTRADO EM ECONOMIA – CME
NÍVEL MESTRADO**

Ana Cristina Guimarães Carneiro

**Avaliação das Mudanças Recentes na Matriz Energética
Brasileira e nas Emissões de CO₂ Através do Modelo Insumo-
Produto**

**João Pessoa
2010**

Ana Cristina Guimarães Carneiro

**Avaliação das Mudanças Recentes na Matriz Energética
Brasileira e nas Emissões de CO₂ Através do Modelo Insumo-
Produto**

Dissertação apresentada como requisito
parcial para a obtenção título de Mestre, pelo
Programa de Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Ignácio Tavares de Araújo Júnior

**João Pessoa
2010**

Ana Cristina Guimarães Carneiro

**Avaliação das Mudanças Recentes na Matriz Energética
Brasileira e nas Emissões de CO₂ Através do Modelo Insumo-
Produto**

Dissertação apresentada como requisito
parcial para a obtenção título de Mestre, pelo
Programa de Pós-Graduação em Economia da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Ignácio Tavares de Araújo Júnior

Aprovado em 25/02/2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior (UFPB) – Orientador

Prof^a Dr^a Liedje Bettizaide Oliveira de Siqueira (UFPB) – Examinador

Prof. Dr. José Lamartine Távora Júnior (UFPE) – Examinador Externo

Á minha mãe, com saudade, e ao meu pai, com muito carinho.
Á Minha irmã Cila, e ao meu Marido Bruno, com todo meu amor.
Ao prof. Ignácio Tavares, que tornou isso possível.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido Bruno e á Cila, os grandes amores da minha vida, por todo apoio que me deram nessa fase e pelo que certamente me darão em todas as outras fases de minha vida, com toda dedicação (amo muito).

Ao meu pai, que sempre apoiou e financiou meus sonhos, com muito carinho e orgulho, deixando claro que ele está sempre disposto e pronto para me ajudar no que for preciso.

À minha saudosa mãe, dona Gleide Guimarães Carneiro, que dedicou a vida aos filhos e a família com muito amor, ensinando valores como respeito, honestidade e amizade que tentarei passar para os meus filhos com a certeza que não conseguirei fazer com a maestria que ela fez.

A coordenação do Mestrado em Economia da UFPB, e ao programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI.

Aos professores que influenciaram na minha formação, aos quais admiro e agradeço. Entre eles, Prof. Paulo Amilton, Prof. Sinézio, Prof. Paulo Aguiar, Prof. Paulo Fernando, Prof. Luciano Sampaio e especialmente para o Prof. Ignácio Tavares, que me orientou com toda paciência e dedicação, sempre muito claro e objetivo, como grande orientador e excelente professor que é.

A Rizomar e a Terezinha, que estão na coordenação nos apoiando com tanto carinho.

As minhas velhas amigas, Fabíola, Andréia, Shirlene, Marina; as meninas do vôlei, que amo e sinto muita saudade e as minhas novas amigas, Dani, Luiza e Gabriela que conheci em João Pessoa e que estarão em minha vida para sempre.

Enfim, a toda minha família, (incluindo, Deco, Caco, Tete, Matheus, Gabriel, Maroka, Tia Martha, Dona Marta e aos demais.) que juntos, formam a base que sustentam e impulsionam a minha vida, transformando tudo em festa e felicidade.

RESUMO

As matrizes energéticas mundiais, inclusive a brasileira, vêm apresentando mudanças quanto as suas principais fontes de energia, como forma de garantir a eficiência e a continuidade do processo de produção. Nesse sentido, o presente trabalho objetiva verificar, através da matriz insumo-produto híbrida, como transformações na matriz energética brasileira entre 2000 e 2005 impactaram na intensidade de emissão de CO₂ no Brasil. A matriz insumo-produto híbrida contabiliza a energia consumida no processo produtivo como um todo, levando em consideração a energia gasta na produção de bens final como também aquela utilizada na produção de bens intermediários. Tal pesquisa faz-se necessário porque há uma crescente preocupação com a questão ambiental, e o aumento do uso de energia, seja qual for à fonte, aumenta as emissões de CO₂ na atmosfera ao mesmo tempo em que os recursos energéticos são insumos fundamentais para o crescimento econômico. Para isso, foram contemplados setores energéticos para conhecer as mudanças intersetoriais do consumo de combustíveis, e consequentemente da emissão de CO₂. Além disso, utiliza-se a Análise de Decomposição Estrutural para avaliar se a variação da emissão é resultado de uma mudança tecnológica ou se é consequência de um choque de demanda. O resultado observado é que entre os anos de 2000 e 2005 houve a substituição de fontes mais poluentes por menos poluentes como o gás natural, principalmente nos setores de refino de petróleo. Mas, o aumento da intensidade energética, gerou um acréscimo na emissão de CO₂ apesar do gás natural ser menos poluente. Para o setor energético, essa variação é consequência, principalmente, de mudanças na demanda final.

Palavras-Chave: Insumo-Produto. Energia. Emissão de CO₂. Análise de Decomposição Estrutural.

ABSTRACT

The global energy mix, including Brazil, has shown changes as their main sources of energy, in order to ensure efficiency and continuity of the production process. In this sense, this work aims to verify, through the hybrid input-output, such as changes in the Brazilian energy matrix between 2000 and 2005 impacted the intensity of CO₂ emissions in Brazil. The hybrid matrix built account the energy consumed in the production process as a whole, taking into account the energy consumed in the production of final goods as well as the as the one used in the production of intermediate goods. Such research is necessary because there is a growing concern about environmental issues, and increased use of energy, whatever the source, increases the emission of CO₂ in the atmosphere at the same time that energy resources are fundamental inputs for growth economic. For this, we used the input-output hybrid contemplating energy sectors to meet both cross-industry fuel consumption and thus CO₂ emissions. In addition, we use the structural decomposition analysis to assess whether the change in emission is a result of technological change or whether it is a result of a demand shock. The result observed is that between the years 2000 and 2005 was the replacement of more polluting sources by less polluting as gas, mainly in the sectors of oil refining. But the increase in energy intensity generated an increase in CO₂ emissions despite the natural gas is less polluting. For the energy sector, this variation is due mainly to changes in final demand.

Key-Words: Input-output, Energy, CO₂ emission. Structural Decomposition Analysis.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Variação na Participação dos Energéticos Consumidos em 2000 e 2005..	18
TABELA 2: Conversão (tC/TJ) do Consumo de CO ₂	19
TABELA 3: Evolução da Emissão de CO ₂ na Economia Brasileira de 1990 a 2006	21
TABELA 4: Estrutura básica dos modelos econômico-ecológicos.....	23
TABELA 5: Fluxo do modelo de Leontief expandido	24
TABELA 6: Tabela de Transações Insumo-Produto.....	27
TABELA 7: Classificação das Atividades e dos Produtos	43
TABELA 8: Elementos para o Cálculo da Matriz de Coeficientes Técnicos Diretos	44
TABELA 9: Intensidade setorial de emissão de CO ₂ para o Brasil em 2000 e 2005.....	46
TABELA 10: Consumo final por fonte de energia nos anos 2000 e 2005	51
TABELA 11: Variação da intensidade total de CO ₂	57
TABELA 12: Variação da intensidade direta de CO ₂	58
TABELA 13: Variação da intensidade indireta de CO ₂	59
TABELA 14: Rank das Intensidades Diretas de CO ₂ do gás natural e do óleo combustível para os anos de 2000 e 2005	60
TABELA 15: Rank das Intensidades Totais de CO ₂ do gás natural e do óleo combustível para os anos de 2000 e 2005	61
TABELA 16: Decomposição da Variação do Produto	64
TABELA 17: Decomposição da demanda final	65
TABELA 18: Decomposição do efeito tecnológico em três efeitos.....	66
TABELA 19: decomposição do efeito tecnológico dado à contribuição de cada setor. ·	69
TABELA 20: Dados de emissão de CO ₂ e produção por atividade.....	72
TABELA 21: Decomposição dos efeitos totais em Gg/ano de CO ₂	73
TABELA 22: Decomposição dos efeitos da demanda final em Gg/ano de CO ₂	75
TABELA 23: Decomposição dos efeitos tecnológicos em Gg/ano de CO ₂	76

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Evolução da Participação dos Principais Energéticos para a Matriz energética Brasileira entre 1980 e 2007	16
GRÁFICO 3: Evolução do Consumo de Gás Natural e Óleo Combustível entre 1971 e 2005.....	17
GRÁFICO 4: Participação do Gás Natural e do Óleo Combustível na matriz energética da indústria brasileira entre 1984 e 2007.....	18
GRÁFICO 5: Diferença da OIE de 2000 para 2005.....	51
GRÁFICO 6: Diferença do consumo final por setor de 2000 para 2005.....	52
GRÁFICO 7: Variação da intensidade direta de CO ₂ para os setores Gás Natural e Óleo Combustível.	62
GRÁFICO 8: Variação da intensidade total de CO ₂ para os setores Gás Natural e Óleo Combustível.	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Intensidade total dos principais energéticos do Brasil em 2000 e 2005..	54
FIGURA 2: Diferença entre a Intensidade Direta dos principais energéticos do Brasil entre 2000 e 2005.....	56

LISTA DE SIGLAS

MIPH – Matriz Insumo-Produto Híbrida

SDA – *Structural Decomposition Analysis* – Análise de Decomposição Estrutural

CO₂ – Dióxido de Carbono

BEN – Balanço Energético Nacional

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo.

tCO₂/TEP – Tonelada de CO₂ por TEP

IE – Indústria Extrativa

IT – Indústria de Transformação

RP – Refino de Petróleo

GASBOL – Gasoduto Brasil Bolívia

GN – Gás Natural

OC – óleo combustível

COP15 – Cúpula das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas

OIE – Oferta Interna de Energia

OD – Óleo Diesel

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

Gg/ano – Gigagrama¹ por ano

¹ 1 giga=10⁹ equivale a 1 joule = 0,239cal (Brasil, 2008).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	15
2.1 EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	15
2.2 INTENSIDADES DE EMISSÃO DE CO ₂	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	22
4 METODOLOGIA	27
4.1 O MODELO DE INSUMO-PRODUTO	27
4.2 ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL SDA	32
4.3 TRATAMENTOS DOS DADOS	43
4.3.1. Matriz insumo-produto híbrida	43
4.3.2 Tratamento de dados para SDA	46
4.3.3 Deflacionando as Matrizes	47
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
5.1 EVOLUÇÃO DO CONSUMO E DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL	50
5.2 RESULTADOS DA MIPH	52
5.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL - SDA	64
5.4 RESULTADOS DA SDA PARA CO ₂	71
6 CONCLUSÕES	77
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	83
ANEXO 1: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000 (efeitos totais)	83
ANEXO 2: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005 (efeitos totais)	84
ANEXO 3: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000 (efeitos diretos)	85
ANEXO 4: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005 (efeitos diretos)	86

ANEXO 5: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000 (efeitos indiretos)	87
ANEXO 6: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005 (efeitos indiretos)	88

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico vem sendo caracterizado pela exploração cada vez maior do meio ambiente, com consequências ainda desconhecidas. A expansão do comércio, o uso de novas tecnologias e a busca por ganhos cada vez maiores incentivaram a exploração dos recursos naturais, muitas vezes, de forma arbitrária. Uma das principais implicações disso é o aquecimento global que já pode ser considerado, segundo alguns cientistas, como resultado direto da atividade humana.

Estima-se que o efeito estufa², um dos principais fenômenos ambientais enfrentados pelo mundo, está associado principalmente à elevação do consumo de energia. Durante a queima dos combustíveis (em especial os combustíveis fósseis) há liberação de vários tipos de gases que potencializam o efeito estufa e contribuem para o aumento da temperatura na Terra. O presente trabalho se preocupa apenas com a emissão de um deles, o dióxido de carbono (CO₂), devido à quantidade emitida.

Num contexto de mudanças na matriz energética brasileira, observa-se, nos últimos anos, uma ampla substituição de combustíveis tradicionais, como o óleo combustível, por fontes energéticas consideradas menos poluentes, notadamente, o gás natural. Esse movimento específico de substituição ganhou força após a construção do gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL), e atualmente, o gás natural é o terceiro insumo energético mais empregado na indústria no Brasil, após a energia elétrica e o bagaço da cana, conforme mostram os dados do Balanço Energético Nacional.

Dada a relação direta entre o uso de recursos energéticos e emissões de CO₂, mudanças de fonte podem ter repercussões expressivas no volume emitido, mesmo que as atividades econômicas mantenham seus níveis de produção constantes.

Cabe ressaltar que, no cálculo dos impactos da emissão de CO₂ em uma indústria/setor, ocasionados por essa substituição, deve ser considerada não apenas a emissão de CO₂ da atividade que emprega o gás natural, por exemplo, em sua produção, mas também a emissão de poluentes das empresas que fornecem matérias-primas para essa indústria/setor.

² O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre a partir da concentração excessiva, na atmosfera, de vários gases, entre eles o CO₂. (MAY, 2003).

O modelo de insumo-produto de Leontief é um instrumento adequado para considerar tais efeitos diretos e indiretos sobre a emissão de CO₂. Isso porque o modelo permite a incorporação do setor energético, dando origem à matriz insumo-produto híbrida³ – MIPH.

A partir da MIPH é possível calcular as intensidades energéticas dos setores da atividade econômica, que indicam os efeitos de mudanças na demanda final sobre o consumo de recursos energéticos (gás natural, eletricidade, óleo combustível, entre outros). Com base nas intensidades energéticas, é possível calcular as intensidades de emissão de CO₂ de cada setor de atividade econômica, que evidencia o quantum de CO₂ o setor emite na atmosfera, considerados os efeitos diretos e indiretos, para um certo aumento na produção.

Esta dissertação pretende avaliar a evolução no consumo das fontes de energia presentes na matriz energética brasileira entre os anos de 2000 e 2005, e ainda, investigar quais os potenciais impactos dessas mudanças sobre as intensidades de emissão de CO₂. Para alcançar esse resultado, será utilizada a matriz insumo-produto híbrida contemplando os setores energéticos.

Por um lado, tal pesquisa faz-se necessária dada a crescente preocupação com os impactos do aumento do uso de energia, e o consequente incremento nas emissões de CO₂ na atmosfera, em razão das perspectivas de crescimento econômico no país. Por outro lado, o conjunto de resultados que podem ser obtidos certamente são de grande utilidade na formulação de políticas ambientais visando à redução de emissões de CO₂.

Por fim, a metodologia empregada permite avaliar, através da análise de decomposição estrutural (Structural Decomposition Analysis – SDA), o papel das transformações tecnológicas nas intensidades de emissões de CO₂ em cada um dos setores da economia brasileira. Indicando, talvez, um caminho que não seja a redução da produção, para a redução das emissões de CO₂.

³ A matriz insumo-produto híbrida é uma extensão do modelo insumo-produto que considera a energia consumida tanto no processo produtivo industrial quanto na produção de insumos utilizados por essas indústrias.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da dissertação é verificar, através da matriz insumo-produto energética nacional, como transformações na matriz energética brasileira entre 2000 e 2005 impactaram na intensidade de emissão de CO₂ na atmosfera. As fontes de energia consideradas são: álcool, eletricidade, petróleo e gás natural e os derivados de petróleo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos consistem em:

- Elaborar um panorama a respeito das mudanças recentes na matriz energética brasileira;
- Avaliar as mudanças na intensidade de emissão de CO₂ setoriais entre 2000 e 2005 através do modelo insumo-produto híbrido para o Brasil;
- Verificar, através da SDA, o papel das transformações tecnológicas sobre emissões de CO₂;

Assim, esse trabalho pretende investigar quais os impactos gerados por mudanças nas fontes de energia sobre a intensidade de emissão de CO₂? E ainda, qual o papel das transformações tecnológicas nas intensidades de emissões de CO₂ em cada um dos setores da economia brasileira? Será que existe um caminho que não seja a redução da produção, para a redução das emissões de CO₂?

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além da introdução e dos objetivos, esse trabalho possui mais cinco capítulos. O segundo capítulo apresenta algumas mudanças ocorridas na matriz energética brasileira nos últimos anos, o terceiro apresenta a revisão da literatura. Em seguida, será feita uma descrição do modelo de insumo-produto de Leontief, dos procedimentos metodológicos e do tratamento dos dados. O capítulo cinco expõe os resultados e, por fim, o capítulo seis apresenta as conclusões.

2 A MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

2.1 EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A energia é uma propriedade de matéria que se manifesta de diversas formas: energia térmica (calor); energia das ligações químicas (química); energia as ligações físicas (nuclear); energia elétrica; e energia das radiações eletromagnéticas (PINTO *et al*, 2007). Ela é utilizada para satisfazer uma série de necessidades humanas, contudo não satisfaz essas necessidades diretamente. A energia é usada em equipamentos, máquinas e aparelhos que tem a função de convertê-la para a forma necessária de utilização.

Como já citado, o presente trabalho pretende avaliar a emissão de CO₂ associada ao consumo de energia. Considerando que cada fonte tem uma intensidade diferente de emissão, torna-se necessário avaliar a composição da matriz energética brasileira. E ainda, observar se houve mudanças desta composição entre os anos de 2000 e 2005.

Quando se trata de emissão de gases poluentes, é preciso considerar que a matriz energética brasileira é privilegiada em relação à matriz mundial porque ela é predominantemente hidroelétrica. A produção de energia através das hidroelétricas garante um baixo custo e uma produção limpa em termos de emissão de gases do efeito estufa. No entanto, a matriz elétrica hídrica apresenta problemas como à sazonalidade que cria fortes *gaps* entre o potencial instalado e a energia efetivamente produzida durante os períodos de estiagem (CASTRO *et al*, 2008).

Pode-se citar a crise do racionamento de energia elétrica no Brasil em 2001 como um exemplo do problema da sazonalidade, que gerou no curto prazo, a diminuição da produção e do nível de emprego, e no longo prazo, a diminuição do investimento agregado da economia, o que comprometeu o crescimento econômico (PEROBELLI, 2007). No gráfico 1, estão reportadas as participações dos principais energéticos na matriz brasileira entre 1980 e 2007. Nota-se a crescente participação do bagaço da cana e do gás natural como fonte de energia. Em contrapartida, a lenha e o óleo combustível tiveram uma redução expressiva na participação da matriz energética nacional.

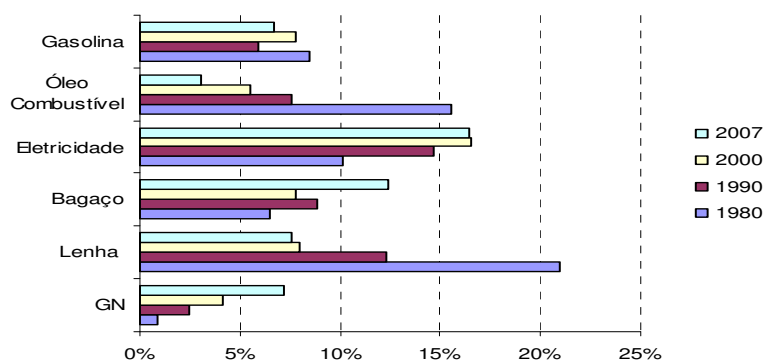


GRÁFICO 1: Evolução da Participação dos Principais Energéticos para a Matriz energética Brasileira entre 1980 e 2007

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

Diversos estudos sobre a eficiência técnica e o uso de fontes alternativas vêm sendo realizados no Brasil. Em relação às fontes alternativas, algumas vêm apresentando uma maior participação na matriz energética brasileira ao longo do tempo. Entre elas, o gás natural, como mostra o gráfico 2, que ganhou força com a implantação do gasoduto Brasil-Bolívia, fato que aumentou a oferta interna e o consumo final de gás natural em aproximadamente 100% entre os anos de 2000 e 2005, segundo dados do Balanço Energético Nacional – BEN.

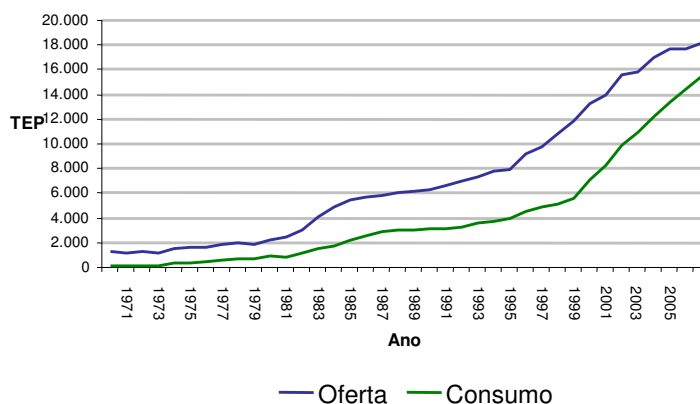


GRÁFICO 2: Evolução do Consumo e da Oferta de Gás Natural no Brasil entre 1971 e 2005

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

O gasoduto Brasil-Bolívia começou a ser construído em 1997, dois anos depois ele já funcionava parcialmente. Estima-se que no final de 2010 o gasoduto esteja operando com sua capacidade máxima, com o objetivo de que o gás natural chegue a 15% do total do consumo

energético nacional. Em 2007, o gás natural foi responsável por cerca de 8% do consumo final (BRASIL, 2008). O gráfico 2 mostra esse crescimento ao longo do tempo.

A parte da oferta de gás natural que não é consumida ou é queimada, representando uma perda, ou é reinjetada. Como se pode perceber, tanto o consumo quanto a produção do cresceram mais rapidamente a partir de 1997. No entanto, acredita-se que o aumento do consumo do gás natural teve como contrapartida a diminuição do consumo de outros energéticos. A queda no consumo do óleo combustível, por exemplo.

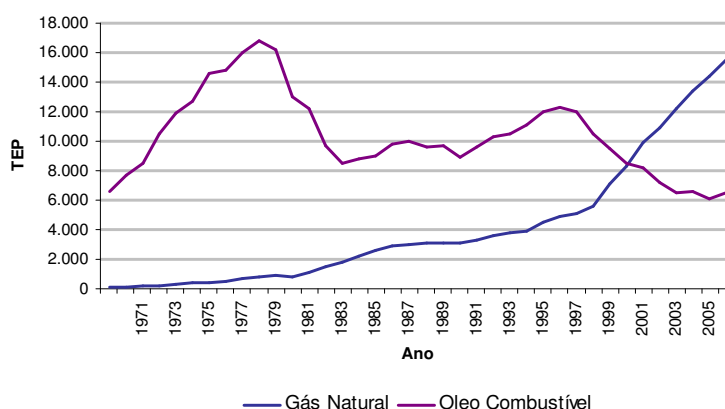


GRÁFICO 3: Evolução do Consumo de Gás Natural e Óleo Combustível entre 1971 e 2005
 Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

O gráfico 3 apresenta indícios de uma substituição entre o óleo combustível e o gás natural. Esse indício torna-se mais clara quando comparada à participação, em termos percentuais, desses energéticos na matriz energética da indústria brasileira (gráfico 4). Enquanto a participação do gás natural aumenta a do óleo combustível sofre uma diminuição, indicando que a possível substituição entre gás natural e óleo combustível ocorrida na economia brasileira é causada, em grande parte, pela substituição ocorrida na indústria. A partir de 2002, o gás natural ultrapassa o óleo combustível e, ao lado da energia elétrica, passar a ser o principal componente da matriz energética da indústria brasileira.

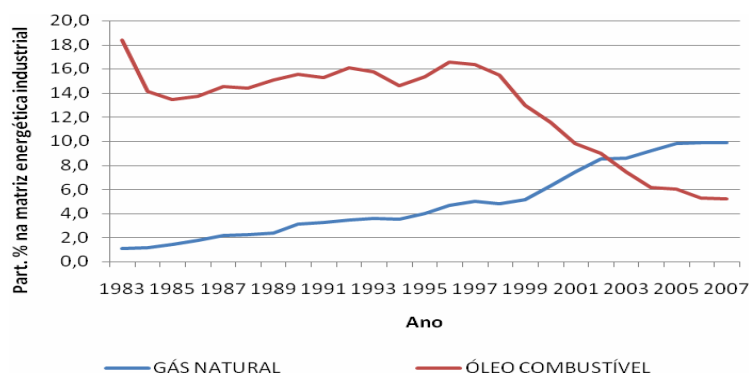


GRÁFICO 4: Participação do Gás Natural e do Óleo Combustível na matriz energética da indústria brasileira entre 1984 e 2007

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

Conforme consta na Tabela 1, apenas o gás natural e o bagaço da cana tiveram um aumento na participação. Fontes como a eletricidade, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo, nafta e querosene tiveram uma queda na participação, o que leva a crer que houve algum tipo de substituição entre as fontes.

TABELA 1: Variação na Participação dos Energéticos Consumidos em 2000 e 2005.

Identificação	2000	2005
Gás Natural	4%	7%
Carvão Mineral	2%	2%
Lenha	8%	8%
Bagaço de Cana	8%	11%
Outras Fontes Prim. Renováveis	2%	2%
Gás de Coqueria	1%	1%
Coque de Carvão Mineral	4%	3%
Eletricidade	17%	16%
Carvão Vegetal	3%	3%
Álcool Etílico	4%	4%
Óleo Diesel	17%	17%
Óleo Combustível	6%	3%
Gasolina	8%	7%
Gás Liquefeito de Petróleo	5%	4%
Nafta	5%	4%
Querosene	2%	1%
Gás Canalizado	0%	0%
Outras Secundárias de Petróleo	5%	5%
Produtos Não-Energéticos de Petróleo	3%	2%
Total	100%	100%

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

Possivelmente houve outras relações de troca entre as fontes energéticas, como por exemplo, a substituição de gasolina por gás natural ou álcool pelo setor transporte, especialmente para carros de passeio. Estas relações de troca entre fontes ficam como sugestão para novas pesquisas.

2.2 INTENSIDADES DE EMISSÃO DE CO₂

A emissão mundial de CO₂ prevista para 2030 é de 42,3 bilhões de toneladas, destas apenas 693 milhões de toneladas será emitida no Brasil. A taxa de crescimento de emissão nacional prevista é de 2,3% ao ano entre o período de 2005 a 2030, enquanto a taxa mundial é de 1,7% ao ano para o mesmo período. No entanto, mesmo alcançando essa marca o Brasil continuará com um indicador favorável em relação ao resto do mundo, com 1,62 tCO₂/TEP em 2030 enquanto que a média mundial chegaria a 2,46 tCO₂/TEP. Dessa forma, o Brasil estaria em 2030 consumindo cerca de 2,4% da energia mundial, mas emitindo apenas 1,5% das emissões totais CO₂ (BRASIL, 2008).

A mudança na matriz energética nacional ocorrida nos últimos anos já apresenta um aumento da emissão de CO₂ menor que o aumento do consumo de energia. Isso é possível, porque utiliza-se mais energético com menor emissão de CO₂.

TABELA 2: Conversão (tC/TJ) do Consumo de CO₂

Produção	Coefficiente de Conversão
Gás Natural	17,1
GLP	17,2
Gasolina	19,2
Óleo Combustível	21,1
Óleo Diesel	20,2
Outros Energéticos de Petróleo	20
Álcool Etflico	14,81
Eleticidade	0

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Balanço energético Nacional (BRASIL, 2008)

Nota: tC/TJ quer dizer tonelada de carbono por tera joule. Um TJ equivale a 10¹² joules (BRASIL, 2008).

Por exemplo, o óleo combustível apresenta um coeficiente de conversão maior que o do gás natural (Tabela 2), ou seja, o consumo de óleo combustível pelos demais setores gera uma quantidade maior de poluição do que o consumo do gás natural.

Com relação à política mundial sobre o controle de emissões de CO₂, em dezembro de 2009 em Copenhage, líderes de todo o mundo participaram da Cúpula das Nações Unidas sobre

Mudanças Climáticas (COP15) com o objetivo de determinar metas de redução das emissões de gases de efeito estufa. A COP15 acabou sem nenhum acordo formal.

No entanto, o presidente Lula sancionou no dia 29 de dezembro de 2009 a lei que institui a Política Nacional de Mudanças Climáticas. O texto estabelece que a meta brasileira de redução nas emissões de CO₂ ficará entre 36,1% a 38,9% até 2020.

O presidente, no entanto, fez três vetos em relação ao texto aprovado pelo Congresso Nacional. O detalhamento de como o país atingirá as metas por setor será fixado por meio de um decreto presidencial. A expectativa do governo é de aprofundar os estudos climáticos ao longo do primeiro mês de 2010 para então publicar o decreto em fevereiro. A meta de diminuição na emissão de gases de efeito estufa é a mesma apresentada pelo Brasil durante a COP15.

Dentre os vetos sugeridos ao projeto original da Política Nacional de Mudanças Climáticas, três foram acatados por Lula. Um deles retira a palavra “abandono” do artigo que estabelecia o abandono de uso de fontes energéticas que usem combustíveis fósseis. Outro veto, acatado a pedido da Advocacia Geral da União (AGU), diz respeito a um artigo que previa o contingenciamento de recursos para o enfrentamento das mudanças climáticas. Já o veto ao Artigo 10º retira do texto o inciso que limitava as políticas de estímulo governamentais às usinas hidrelétricas de pequeno porte.

A emissão de CO₂ na economia brasileira vem crescendo, como mostra a Tabela 3. Em 2000 a emissão total foi de 400.990,38 Gg/ano, enquanto que em 2005 esse valor chegou a 463.499,63 Gg/ano. Os dados são estimados pelos Ministérios de Minas e Energia e Ciência e Tecnologia e publicados no Balanço de Emissões. Os valores são expressos em Gg/ano obtidos a partir dos dados em TEP novo e os coeficientes de emissão recomendados. Foi considerada a emissão a partir do consumo final energético de por ano considerando todas as fontes de energia.

TABELA 3: Evolução da Emissão de CO₂ na Economia Brasileira de 1990 a 2006

Ano	Emissão de CO₂ Gg/ano
1990	306.934,34
1991	315.580,15
1992	318.137,02
1993	327.471,59
1994	345.300,25
1995	354.864,44
1996	371.829,50
1997	389.517,56
1998	395.977,39
1999	400.561,36
2000	400.990,38
2001	408.708,30
2002	423.384,03
2003	433.836,48
2004	454.473,15
2005	463.499,64
2006	476.641,11

Fonte: Balanço de emissões (BRASIL, 2007).

Nota: Esse valor é correspondente à soma da emissão para todas as fontes, correspondentes a consumo final de energia.

O próximo capítulo apresenta um breve desenvolvimento da teoria econômica bem como dos modelos que tratam das questões ambientais, além de apresentar algumas aplicações destes na literatura nacional e internacional.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O meio ambiente oferece os insumos básicos para as atividades econômicas como as matérias primas e a energia. No entanto, grande parte desses recursos não é renovável, e o aumento do consumo destas fontes põe em risco o meio ambiente. Esse capítulo apresenta como alguns modelos, inclusive o modelo insumo-produto, vêm sendo usados para avaliar a questão ambiental, tais como a relação entre consumo de energia e poluição.

A teoria econômica considera a poluição um caso típico de externalidade negativa. Considera-se que existe externalidade negativa sempre que o bem-estar do consumidor ou as possibilidades de produção de uma empresa são diretamente afetados, de forma negativa, pelas ações de outro agente na economia (MAS-COLELL *et al*, 1995).

A solução tradicionalmente apresentada para resolver o problema da poluição, sob a ótica econômica, é a criação de tributos sob os agentes poluidores. Entre os conceitos mais importantes estão: a solução de Pigou⁴, a solução custo-efetiva e o princípio poluidor-pagador. A solução de Pigou propõe a internalização dos danos ao meio ambiente considerando não apenas o custo marginal privado, mas também o custo marginal social. Já a solução custo-efetiva tenta internalizar os custos de controle, ou seja, busca alternativas de abatimento da poluição que atinjam metas estabelecidas ao menor custo possível. Por fim, o princípio poluidor-pagador incentiva os agentes a diminuïrem seus despejos para evitar a cobrança de impostos (MAY, 2003).

No entanto, o problema poluição tem dois agravantes: o primeiro diz respeito ao fato que o meio ambiente é considerado um bem-público, ou seja, um bem que tem que ser fornecido na mesma quantidade para todas as pessoas, mas, ao mesmo tempo, um bem que nenhum agente pode exigir diretos sobre ele. Dessa forma, os agentes que constatarem perda de bem-estar não podem ser compensados monetariamente, da mesma forma que o agente poluidor não paga nenhum preço pela poluição. Assim, o agente poluidor não tem nenhum incentivo para diminuir a poluição (HILGENBERG, 2005).

⁴ Arthur Cecil Pigou foi um pioneiro no estudo da correção da externalidade negativa via cobrança de impostos por parte do estado sob os agentes poluidores (MAY, 2003).

O segundo agravante se refere à dificuldade de mensurar a poluição. Valorar os recursos ambientais economicamente não é fácil. Segundo May (2003), existem métodos na literatura que procuram identificar valores intrínsecos de recursos ambientais de uma forma que não está associada a análise econômica. A valoração econômica ambiental busca avaliar o valor econômico de um recurso ambiental através da determinação do que é equivalente em termos de outros recursos disponíveis na economia. Ou seja, mede o quanto os agentes estariam dispostos a abrir mão de maneira a obter uma melhor qualidade nos recursos ambientais, fator que pode variar de uma região para outra aumentando a complexidade do tema.

O modelo insumo-produto é uma das ferramentas que vem sendo usado para medir a emissão de carbono dado o uso de energia. De acordo com Miller e Blair (1985), há três categorias de modelo insumo-produto relacionadas à questão do meio ambiente:

- Os modelos econômico-ecológicos: resultam na inclusão dos setores do ecossistema, onde os fluxos entre a economia e o ecossistema são expressos como num modelo inter-regional. Nesse modelo, considera-se os commodities ecológicos, ou seja, as quantidades de bens não comercializáveis que são usadas como insumo ou viram produto durante o processo produtivo. Esses modelos dão origem a quatro sub-matrizes básicos, como mostra a Tabela 4.

TABELA 4: Estrutura básica dos modelos econômico-ecológicos

	Indústria	Processo Ecológico
Indústria	Fluxo entre os setores econômicos	Fluxo da indústria para o ecossistema
Processo Ecológico	Fluxo de ecossistema para a indústria	Fluxo dentro do ecossistema

Fonte: MILLER e BLAIR, 2009.

- Os modelos produto x setor: expressa os fatores ambientais como produto em uma tabela insumo-produto do tipo produto x setor;
- Os modelos aumentados de Leontief ⁵: nestes as emissões setoriais de poluentes são consideradas em conjunto com as transações monetárias de insumo-produto com o objetivo de captar as inter-relações entre a produção de bens pelos setores e as emissões de poluentes. Ou seja, um aumento do nível de um poluente pode ser relacionado com mudanças na demanda final por bens e serviços específicos, com

⁵ Wassily Leontief publicou seu primeiro trabalho, *Análise de Insumo-Produto* em 1936. Porém, somente em 1970, Leontief recebeu o prêmio Nobel em Economia pelo desenvolvimento do modelo insumo produto. (FEIJÓ *et al* ,2008).

mudanças em um ou mais setores da economia, ou com alguma combinação dos dois casos, de tal forma que é possível antecipar os efeitos de uma mudança tecnológica. Como Leontief (1970) *apud* Miller e Blair (1985) apresentado na Tabela 5.

TABELA 5: Fluxo do modelo de Leontief expandido

	Setores Compradores			
Setores Vendedores	A	B	Demanda Final	Produção Total
A	z_{11}	z_{12}	Y_1	X_1
B	z_{21}	z_{22}	Y_2	X_2
Geração de poluição	z_{p1}	z_{p2}	Y_p	X_p

Fonte: MILLER e BLAIR, 1985.

Entre os trabalhos mais recentes publicados, para o Brasil, destacam-se: Hilgemberg (2005), e Perobelli (2007). Já para os trabalhos internacionais, o presente trabalho desta: Casler e Blair (1997) e Labandeira e Labeaga (2002), Alcântara e Padilla (2003).

Hilgemberg (2005) utilizou o modelo expandido de Leontief para analisar a emissão de CO₂ proveniente do uso do gás natural, do álcool e dos derivados de petróleo em seis regiões brasileira (as cinco regiões e o estado de São Paulo). Os resultados obtidos constataam que recentemente as taxas de crescimento da emissão são muito significativas, com destaque para o aumento do uso do gás natural e a diminuição do álcool. Constatou-se que no Brasil para cada R\$ 1 milhão adicional na demanda final, as emissões aumentam na ordem de 200 toneladas de CO₂ em média para cada setor considerado, originadas, em grande parte pelos derivados de petróleo. Os setores que mais contribuíram para o aumento da poluição foram: os setores de transporte rodoviário, outros transportes, produção de energia não hidráulica, petróleo e outros, álcool e refino de petróleo.

Perobelli (2007) utilizou a matriz insumo-produto para avaliar a interação energética entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil. Os setores que apresentaram maior consumo de energia dentro de Minas Gerais foram: ferro e aço, transporte, energético e outras indústrias. Fora de Minas Gerais destacaram-se: os setores energéticos, transporte, outras indústrias e alimentos e bebidas.

Alcântara e Padilla (2003) analisaram a Espanha com o objetivo de descobrir, com auxílio da matriz insumo-produto, os setores chaves para o consumo de energia final. Segundo o estudo,

os setores chaves na economia espanhola são: o transporte doméstico, outros transporte, produtos químicos e alimentos.

Casler e Blair (1997) utilizam o modelo híbrido para considerar as emissões de poluentes geradas pela queima de combustíveis fósseis nos Estados Unidos em 1985. O estudo considerou a queima de carvão, óleos crus e gás natural e produtos de refino de petróleo. Neste trabalho, encontrou-se que os setores mais poluentes são: os setores de mineração, produtos de madeira, produtos de papel, manufatura primária de ferro e aço, metais primários não-ferrosos e os setores de transporte. Em relação à emissão de CO₂ os setores que se destacaram foram: os de mineração, transporte aéreo, produtos químicos e manufatura primária de ferro e aço.

Labandeira e Labeage (2002) também utilizaram o modelo insumo-produto híbrido para obter a intensidade de carbono para a Espanha em 1992, além de observar as possíveis consequências da implantação de uma taxa de imposto. Para esse estudo, os setores mais intensos na emissão de CO₂ foram: extração de carvão, eletricidade, gás natural, refino de petróleo, gás manufacturado, cimento, transporte marítimo, cerâmicas e tijolos.

A análise de decomposição estrutural – Structural Decomposition Analysis – SDA, por sua vez, é um método de estática comparativa usado para avaliar mudanças estruturais de uma economia com base em dados de insumo-produto.

A SDA foi apresentada pela primeira vez por Leontief e Ford (1972), eles foram os primeiros a derivar formalmente uma decomposição em três determinantes. Nesse trabalho os autores investigaram os efeitos estruturais sobre a poluição do ar e projetaram cenários futuros de emissão. Gould e Kulshreshtha (1986) são os primeiros a destacar a importância da demanda final e das interdependências estruturais nas mudanças no consumo de energia, aplicando seu estudo a província de Sashkatchewan no Canadá. Em seguida, Rose e Chen (1991) decompõem o consumo de energia nos EUA, enquanto Lin e Polenske (1995) analisam o consumo de energia da China.

Recentemente, muitas pesquisas utilizam a metodologia de Análise de Decomposição Estrutural para avaliar problemas ambientais, como a emissão de CO₂. Chang e Lin (1998) avaliam as tendências das emissões de CO₂ na indústria de Taiwan. Common e Salma (1992) analisam as mudanças nas fontes de emissão na Austrália. Casler e Rose (1998) fizeram a

mesma avaliação para os Estados Unidos. Wier (1998) avaliou as mudanças nas emissões relacionadas ao consumo de energia na Dinamarca. Labandeira e Labeage (2002) obtiveram a intensidade de CO₂ para a economia espanhola.

Para a economia brasileira, dois trabalhos sobre SDA se destacam: Wachmann (2005) faz uma comparação entre os métodos de análise de decomposição estrutural e análise decomposição por índice. O autor conclui que a análise de decomposição estrutural é o método adequado para captar mudanças estruturais em uma economia quando os dados estão no formato matriz insumo-produto;

O outro destaque é pra o trabalho de Silva (2007) que avaliou a intensidade de CO₂ na economia brasileira. O autor conclui que os setores de siderurgia e transporte são aqueles que se mostraram mais intensivos em emissão. Já os setores cimento, minerais não metálicos e papel e celulose apresentaram maiores reduções de emissões devido às mudanças tecnológicas.

4 METODOLOGIA

4.1 O MODELO DE INSUMO-PRODUTO

O modelo insumo-produto é a metodologia recomendada para mensurar os impactos econômicos considerando o encadeamento intersetorial de uma determinada região ou país. Este modelo foi desenvolvido por Leontief um dos primeiros autores a trabalhar com organização, formalização e aperfeiçoamento de estudos associados à relação intersetorial. O presente trabalho se baseia na metodologia de Miller e Blair (1985).

O nível de interdependência pode ser avaliado através dos coeficientes e de requerimentos intersetoriais. A Tabela 6 mostra as relações entre os setores e a demanda final no modelo insumo-produto. Nas linhas é possível observar que a produção de um setor que é usada como insumo de outros setores ou podem ser consumidas diretamente pelos componentes da demanda final. As colunas representam a necessidade que os setores têm em consumir insumos para realizarem seus processos produtivos, insumos estes que podem ter origem nacional ou importada.

TABELA 6: Tabela de Transações Insumo-Produto

		Setores Comprados				Demanda Final					f	Produção
		X ₁	X ₂	X _j	X _n	I	X	VE	CG	CF		
Setores Vendidos	X ₁	I z_{in}				II						
	X ₂											
	X _i											
	X _n											
	M	III										
	Impostos, Subsídios											
Valor Adicionado	Salários											
	EOB											
Produção Total												

Fonte: Adaptada de Miller e Blair, 1985.

O modelo de insumo-produto é formado por um sistema de equações lineares com n equações e n incógnitas onde a demanda de um dado setor j por insumos de outro setor está relacionada com o valor de bens produzidos por esse setor j e com a demanda final. Na Tabela 6, o primeiro quadrante apresenta o fluxo monetário entre as atividades; o segundo quadrante mostra o valor da produção de cada atividade destinada à demanda final; e o terceiro

quadrante apresenta o valor das importações e o valor adicionado total para cada atividade. Considerando que a economia é dividida em n setores e que cada setor X_i equivale a:

$$X_i = z_{ij} + z_{i2} + \dots + z_{in} + C_i + I_i + G_i + E_i. \quad (1)$$

Onde

X_i = Produto total do setor i

z_{in} = Valor monetário do fluxo do setor i para o setor j

C_i = Produção do setor i consumida domesticamente pelas famílias

I_i = Produção do setor i destinada ao investimento

G_i = Produção do setor i destinada para as administrações públicas

E_i = Produção do setor i exportada

O modelo insumo-produto considera que os fluxos intersetoriais do setor i para o setor j tem uma relação linear, dada por um coeficiente técnico conhecido por a_{ij} :

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j}. \quad (2)$$

Considerando que $Y = C + I + G + E$ e substituindo a equação (2) na equação (1):

$$X_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1. \quad (3)$$

Da mesma forma, é possível escrever para os n setores da economia:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 \\ X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 \\ &\vdots \\ X_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + Y_n. \end{aligned} \quad (4)$$

Colocando em evidência o termo em comum das equações (4) e trazendo os termos X para a esquerda tem-se:

$$\begin{aligned}
(1 - a_{11})X_1 - a_{12}X_2 - \dots - a_{1n}X_n &= Y_1 \\
-a_{21}X_1 + (1 - a_{22})X_2 - \dots - a_{2n}X_n &= Y_2 \\
a_{i1}X_1 - a_{i2}X_2 - \dots + (1 - a_{ii})X_i - \dots - a_{in}X_n &= Y_i \\
-a_{n1}X_1 - a_{n2}X_2 - \dots + (1 - a_{nn})X_n &= Y_n.
\end{aligned} \tag{5}$$

As equações (5) podem ser escritas na forma matricial como:

$$(I - A) X = Y. \tag{6}$$

Onde I é uma matriz identidade, A é a matriz de coeficientes de produção ($n \times n$), X é o vetor de produção ($n \times 1$) e Y é o vetor demanda final ($n \times 1$). A partir da Equação (6) é possível obter a produção total necessária para suprir a demanda final:

$$X = (I - A)^{-1}Y. \tag{7}$$

Onde:

$(I - A)^{-1}$ = Matriz de impacto ou Matriz de Leontief,

X = Matriz de produção total,

Y = Matriz demanda final.

O modelo insumo-produto permite a criação de várias extensões, entre elas a incorporação do setor energético, onde o consumo de recursos energéticos dos setores é mensurado em unidades físicas, TEP. Essa variação do modelo insumo-produto é denominada de modelo híbrido que expressa a energia consumida tanto no processo produtivo industrial quanto a energia consumida na produção de insumos utilizados por essas indústrias (MILLER e BLAIR, 1985). A partir disso, o modelo insumo-produto calcula a emissão de CO_2 aplicando-se o coeficiente de emissão sobre as intensidades do consumo de energia.

Para construir esse modelo, é necessário incorporar uma matriz de fluxo energético, aqui denotado por E (em unidades físicas); Considerando que existem n setores, dos quais m são setores energéticos, tem-se a matriz de fluxos energéticos E ($m \times n$). Para exemplo de

ilustração, considera-se uma economia com quatro setores sendo dois setores energéticos, E (2×4) representada na Equação (8):

$$E = \begin{bmatrix} TEP & TEP & TEP & TEP \\ TEP & TEP & TEP & TEP \end{bmatrix} \quad (8)$$

Assumindo que a energia consumida pela demanda final é dada por e_y , e o consumo total de energia na economia é F , tem-se:

$$E \cdot i + e_y = F. \quad (9)$$

Com base na matriz E é possível construir a matriz de transações intersetoriais em unidades híbridas, (Z^*). Para isso, é necessário substituir na matriz de transações intersetoriais, (Z), Equação (10), as linhas que representam os fluxos de energia em unidades monetárias (\$) pelas linhas que representam os fluxos físicos (TEP) de energia apresentados na matriz E . A nova matriz de fluxos intersetoriais (Z^*) representa os fluxos intersetoriais de energia em unidades físicas e os outros fluxos em unidades monetárias.

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (10)$$

Substituindo as linhas com fluxos energéticos pelas linhas que representam os fluxos físicos de energia, encontra-se a matriz em unidades híbridas (Z^*):

$$Z^* = \begin{bmatrix} TEP & TEP & TEP & TEP \\ TEP & TEP & TEP & TEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adotando o mesmo procedimento para as matrizes de demanda (Y) e produção (X), encontram-se as matrizes de demanda híbrida (Y^*) e de produção híbrida (X^*):

$$Y^* = \begin{bmatrix} TEP \\ TEP \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix} \quad (12); \quad X^* = \begin{bmatrix} TEP \\ TEP \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix} \quad (13)$$

A partir de (11) e (13) pode-se encontrar a matriz de requerimento direta de energia, (A^*), que representa o requerimento por unidade de produção total⁶. Com outras palavras, quanto de energia é necessário para a produção de uma unidade monetária:

$$A^* = Z^* (\hat{X}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{TEP}{TEP} & \frac{TEP}{TEP} & \frac{TEP}{\$} & \frac{TEP}{\$} \\ \frac{TEP}{TEP} & \frac{TEP}{TEP} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{TEP}{\$} & \frac{TEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{TEP}{\$} & \frac{TEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Onde $(\hat{X}^*)^{-1}$ é a matriz de produção diagonalizada.

A matriz de requerimento total energética, $(I - A^*)^{-1}$, representa os requerimentos por unidade de demanda final, considerando agora todo o encadeamento intersetorial. Para encontrar a matriz de requerimentos diretos de energia (A^*) e a matriz de requerimentos totais de energia $(I - A^*)^{-1}$ é preciso criar a matriz F^* ($m \times n$) onde cada elemento representa os fluxos de energia⁷:

$$F^* = \begin{bmatrix} TEP & 0 & 0 & 0 \\ 0 & TEP & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

Ao multiplicar a matriz $F^* (\hat{X}^*)^{-1}$ por A^* e $(I - A^*)^{-1}$ é possível recuperar os coeficientes totais e diretos, aqui representados por δ , e, α :

$$\delta = F^* (\hat{X}^*)^{-1} A^*. \quad (16)$$

⁶ É importante enfatizar que no modelo híbrido o somatório das linhas nem sempre é menor que 1, uma vez que, alguns valores estão representados em TEP.

⁷ Cada elemento da Matriz F^* é colocado ao longo da diagonal principal e os demais elementos são zero.

$$\alpha = F * (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1}. \quad (17)$$

Os coeficientes indiretos, γ , são obtidos através da diferença entre as Equações (16) e (17):

$$\gamma = F * (\hat{X}^*)^{-1} [(I - A^*)^{-1} - A^*]. \quad (18)$$

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a emissão de carbono na atmosfera considerando o consumo de energia, por isso, é preciso considerar a matriz dos coeficientes que convertam a utilização de energia em emissão, tal matriz é conhecida como matriz c ⁸:

$$c = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (19)$$

Assim, é possível encontrar as emissões diretas, totais e indiretas:

$$\delta_{CO_2} = cF * (\hat{X}^*)^{-1} A^*. \quad (20)$$

$$\alpha_{CO_2} = cF * (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1}. \quad (21)$$

$$\gamma_{CO_2} = cF * (\hat{X}^*)^{-1} [(I - A^*)^{-1} - A^*]. \quad (22)$$

Porém, é possível avaliar se entre dois períodos as mudanças na matriz energética brasileira, e consequentemente as emissões de CO₂, ocorreram devido às mudanças tecnológicas ou choques de demanda setoriais. Isso é possível através da análise de decomposição estrutural (SDA), assunto do próximo tópico.

4.2 ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL SDA

A Análise de Decomposição Estrutural (SDA – Structural Decomposition Analysis) segundo Rose e Chen (1991) *apud* Wachmann (2005) “analisa as mudanças econômicas dos parâmetros chaves nas tabelas de insumo-produto utilizando um jogo de mudanças estáticas comparativas”. A SDA é um método capaz de mensurar os efeitos econômicos de uma variação na emissão de CO₂.

⁸ Assume-se que as emissões de CO₂ estão linearmente relacionadas com os requerimentos energéticos δ , α e γ . Por isso, a matriz c se apresenta da mesma forma da matriz F^* , com seus elementos na diagonal principal e os demais zero.

A partir da SDA a variação total da matriz inversa de Leontief pode ser desagregada em uma parte que está associada com mudança de tecnologia dentro de cada setor (como reflexo de mudanças na matriz de coeficientes direta) e em outra parte associada a mudanças no mix de produtos dentro de cada setor. Da mesma forma, mudanças na demanda final poderiam ser ainda desagregadas em uma parte que capta as mudanças na composição da demanda final (MILLER e BLAIR, 2009).

Há várias formas de desenvolver a análise de decomposição estrutural. Esse trabalho vai considerar a forma definida por Miller e Blair (2009), e a apresentada por Linden e Dietzenbacher (1995) e Silva (2009). A diferença de um método para o outro é que Miller e Blair decompõe o efeito da tecnologia considerando a contribuição de cada setor, enquanto que Linden e Dietzenbacher decompõe esse mesmo efeito considerando o efeitos substituição e o efeito intensidade.

Inicialmente, segundo Miller e Blair, é necessário explorar, grosso modo, a **mudanças no produto**, Δx . Assumindo que há matrizes insumo-produto para dois períodos (representados por sobrescritos 0 e 1). O produto no ano t é x^t , Assim, para os dois períodos temos:

$$x^1 = L^1 f^1 \text{ e } x^0 = L^0 f^0 \quad (23)$$

Onde f^t é o vetor demanda final no ano t ; e $L^t = (I - A^t)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos no ano t . Dessa forma a mudança no produto é:

$$\Delta x = x^1 - x^0 = L^1 f^1 - L^0 f^0 \quad (24)$$

Rose e Miernyk (1989) afirmam que o método de decomposição estrutural envolve vários exercícios estáticos comparativos nos quais vários coeficientes são mudados, de tal forma que os níveis de atividade são comparados com um ponto de referencial. Por exemplo, se considerarmos as equações:

$$\Delta f = f^1 - f^0 \quad \Delta L = L^1 - L^0$$

$$f^1 = (f^0 + \Delta f) \quad L^1 = (\Delta L + L^0)$$

$$f^0 = (f^1 - \Delta f) \quad L^0 = (L^1 - \Delta L)$$

Substituímos na Equação (24), tem-se:

$$\Delta x = L^1(f^0 + \Delta f) - (L^1 - \Delta L)f^0 = (\Delta L)f^0 + L^1(\Delta f) \quad (25)$$

Essa simples manipulação algébrica fornece um forte resultado quanto à decomposição estrutural da variação na produção. A primeira parte da equação está associada a mudança tecnológica, enquanto a segunda parte reflete as mudanças na demanda final. Há várias combinações possíveis, no entanto, Miller e Blair (2009) consideram a decomposição na forma aditiva, assim os autores desenvolvem alguns desses exemplos, como se segue.

$$\Delta x = (L^0 - \Delta L)f^1 - L^0(f^1 + \Delta f) = (\Delta L)f^1 + L^0(\Delta f) \quad (26)$$

$$\Delta x = (\Delta L)f^0 + L^0(\Delta f) - (\Delta L)(\Delta f) \quad (27)$$

$$\Delta x = (\Delta L)f^1 + L^1(\Delta f) - (\Delta L)(\Delta f) \quad (28)$$

Todas as equações acima são possíveis, mas Dietzenbacher e Los (1998) apud Miller e Blair (2009) constataram que a combinação da Equação (27) com a (28) é a mais adequada. A soma destas duas equações resulta na Equação (29), que será usada no presente trabalho.

$$\begin{aligned} 2\Delta x &= (\Delta L)f^0 + L^1(\Delta f) + (\Delta L)f^1 + L^0(\Delta f) \\ \Delta x &= (1/2)(\Delta L)(f^0 + f^1) + (1/2)(L^0 + L^1)(\Delta f) \end{aligned} \quad (29)$$

O primeiro termo do lado direito representa a mudança no produto se houver uma mudança na tecnologia (implica a mudança na inversa de Leontief - ΔL), enquanto o segundo termo capta o efeito de mudanças da demanda final, Δf , em ΔX .

Se $\Delta f = 0$ então $\Delta x = (1/2)(\Delta L)(f^0 + f^1)$.

No entanto, ainda é possível decompor as duas partes da Equação (29). Trata-se de uma análise mais profunda que desagrega os efeitos da variação na **demanda final**, (Δf) e da **tecnologia**, (ΔL) . Os fatores que podem contribuir para a mudança na demanda final entre dois períodos são: o valor total de todos os gastos da demanda final (efeito nível); a distribuição total dos gastos ao longo das categorias de demanda (efeito distribuição); e a combinação de insumos dentro de cada categoria de demanda (efeito mix).

Para decompor a **demanda final** é necessário considerar um modelo com n setores, se existem p categorias de demanda então existirá uma matriz de demanda final F^t .

$$F^t_{(n \times p)} = [f_1^t, \dots, f_p^t] \text{ Onde, } f_k^t = \begin{bmatrix} f_{1k}^t \\ \vdots \\ f_{nk}^t \end{bmatrix} \text{ e } f_{ik}^t \text{ é o montante gasto pela categoria } k \text{ sobre}$$

produção do setor i no ano t . O vetor que identifica a distribuição de f^t entre as p categorias de demanda final é encontrado pela coluna soma de F^t , y^t , e dividido pelo f^t , ou,

$$d^t_{(p \times 1)} = [d_k^t] = (1/f^t)y^t = \begin{bmatrix} y_1^t / f^1 \\ \vdots \\ y_p^t / f^1 \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Então d_k^t representa a proporção dos gastos da demanda final no ano t que foi originado na categoria k . Finalmente, a matriz $B^t_{(n \times p)}$.

$$B^t = [b_{ik}^t] = (F^t)(y)^{-1}. \quad (31)$$

Assim, a matriz B^t é equivalente a matriz F^t normalizado pela soma das colunas o que indica a proporção do total de gasto de demanda final da categoria k que era gasto no produto dos setores i no ano t .

$$f^t = f^t B^t d^t = B^t y^t. \quad (32)$$

$$\Delta f = f^1 - f^0 \quad (33)$$

$$\Delta f = f^1 B^1 d^1 - f^0 B^0 d^0 \quad (34)$$

Se considerarmos que $f^1 = \Delta f + f^0$ e $d^0 = d^1 - \Delta d$, e substituirmos na Equação (34) tem-se:

$$\begin{aligned} \Delta f &= (\Delta f + f^0) B^1 \cdot d^1 - f^0 \cdot B^0 (d^1 - \Delta d) \\ \Delta f &= \Delta f \cdot B^1 \cdot d^1 + f^0 \cdot B^1 \cdot d^1 - f^0 \cdot B^0 \cdot d^1 + f^0 \cdot B^0 \cdot \Delta d \\ \Delta f &= \Delta f \cdot B^1 \cdot d^1 + f^0 \cdot \Delta B \cdot d^1 + f^0 \cdot B^0 \cdot \Delta d \end{aligned} \quad (35)$$

Ou, substituirmos $f^0 = f^1 - \Delta f$ e $d^1 = \Delta d + d^0$ e na Equação (34), tem:

$$\begin{aligned}
\Delta f &= f^1 \cdot B^1 (\Delta d + d^0) - (f^1 - \Delta f) B^0 \cdot d^0 \\
\Delta f &= f^1 \cdot B^1 \cdot \Delta d + f^1 \cdot B^1 \cdot d^0 - f^1 \cdot B^0 \cdot d^0 + \Delta f \cdot B^0 \cdot d^0 \\
\Delta f &= f^1 \cdot B^1 \cdot \Delta d + f^1 \cdot \Delta B \cdot d^0 + \Delta f \cdot B^0 \cdot d^0
\end{aligned} \tag{36}$$

Somando as Equações (35) e (36) para construir a equação na forma polar⁹, é possível encontrar a equação que decompõe a demanda final na forma polar.

$$\begin{aligned}
2\Delta f &= f^1 \cdot B^1 \cdot \Delta d + f^1 \cdot \Delta B \cdot d^0 + \Delta f \cdot B^0 \cdot d^0 + \Delta f \cdot B^1 \cdot d^1 + f^0 \cdot \Delta B \cdot d^1 + f^0 \cdot B^0 \cdot \Delta d \\
\Delta f &= (1/2)(\Delta f)(B^0 d^0 + B^1 d^1) + \\
&\quad (1/2)[f^0(\Delta B)d^1 + f^1(\Delta B)d^0] + \\
&\quad (1/2)(f^0 B^0 + f^1 B^1)\Delta d
\end{aligned} \tag{37}$$

O primeiro termo da Equação (37) representa o efeito-nível da demanda final, o segundo, o efeito mix na demanda final e o último o efeitos distribuição da demanda final. O aspecto nível se refere ao montante total de todos os gastos com demanda final. O aspecto distribuição representa a distribuição do gasto total entre as categorias da demanda. Já o mix representa o mix dos produtos dentro de uma categoria especial.

Quando só existe uma categoria de demanda, como é o caso da presente pesquisa, $p = 1$ implica que $\Delta d = 0$, logo a Equação (37) pode ser simplificada, como representada abaixo:

$$\Delta f = (1/2)(\Delta f)(B^0 + B^1) + (1/2)(f^0 + f^1)(\Delta B) \tag{38}$$

Ou seja, quando só há uma categoria de demanda, a diferença entre dois períodos pode ser dividida entre efeito nível e efeito mix.

Já a diferença entre duas inversas de Leontief se dá por substituição de insumos ou pelo uso mais eficiente dos mesmos. Considerado o uso da decomposição aditiva. Tem-se,

$$\begin{aligned}
L &= (I - A)^{-1} \text{ Logo, } L^1 = (I - A^1)^{-1} \text{ e } L^0 = (I - A^0)^{-1} \\
L^1(I - A^1) &= I = L^1 - L^1 A^1 \\
L^1 - I &= A^1 L^1, \text{ logo, } L^1 L^0 - L^0 = L^1 A^1 L^0
\end{aligned} \tag{39}$$

⁹ A equação na forma polar representa uma forma de calcular uma média que se aproxima da média de todas as formas possíveis segundo Dietzenbacher e Los (1998).

$$\text{Ou, } L^0(I - A^0) = I = L^0 - L^0 A^0$$

$$L^0 - I = A^0 L^0, \text{ logo, } L^1 L^0 - L^1 = L^1 A^0 L^0 \quad (40)$$

Unindo as Equações (39) e (40) é possível encontrar a variação da inversa de Leontief na forma polar.

$$\Delta L = (1/2)L_0(\Delta A)L_1 + (1/2)L_1(\Delta A)L_0 \quad (41)$$

Dessa forma, é possível constatar que a variação na inversa de Leontief está associada à mudança na matriz de coeficientes técnicos, A . Enquanto Miller e Blair apresentam uma metodologia que é capaz de desagregar a decomposição da tecnologia por setor, Dietzenbacher e Hoekstra (2002) *apud* Silva (2009) decompõe a tecnologia em efeito intensidade, substituição e efeito específico da célula ou o termo de erro, como será apresentado mais adiante.

O primeiro método apresentado será o de desenvolvido por Miller e Blair (2009), que decompõe a variação tecnológica por setor. Esse método considerando que existem n setores, tem-se:

$$A_1 = A_0 + \Delta A = \begin{bmatrix} a_{11}^0 + \Delta a_{11} & \cdots & a_{1n}^0 + \Delta a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{n1}^0 + \Delta a_{n1} & \cdots & a_{nn}^0 + \Delta a_{nn} \end{bmatrix}. \quad (42)$$

$$\text{Temos que } \Delta A^{(j)} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & \Delta a_{1j} & \cdots & 0 \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ 0 & \cdots & \Delta a_{nj} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \text{ representa a mudança na tecnologia do setor } j.$$

$$\text{Então, } \Delta A = \Delta A^{(1)} + \cdots + \Delta A^{(j)} + \cdots + \Delta A^{(n)} = \sum_{j=1}^n \Delta A^{(j)}. \quad (43)$$

Substituindo ΔA em ΔL na Equação (29),

$$\Delta x = 1/2(\Delta L)(f^0 + f^1) + 1/2(L^0 + L^1)(\Delta f) \quad (44)$$

$$\Delta x = 1/2[L^1(\Delta A)L^0](f^0 + f^1) + 1/2(L^0 + L^1)(\Delta f)$$

$$\Delta x = 1/2[L^1(\Delta A^{(1)})L^o](f^0 + f^1) + \dots + 1/2[L^1(\Delta A^{(n)})L^o](f^0 + f^1) + 1/2(L^0 + L^1)(\Delta f) \quad (45)$$

O primeiro termo representa as mudanças na tecnologia do setor 1, o segundo termo representa as mudanças na tecnologia do setor n, e o terceiro termo representa as mudanças na demanda final.

O segundo método utilizado é o de Dietzenbacher and Hoekstra (2002) apud Silva (2007). Esse método considera que a mudança na tecnologia pode ser dividida em efeito intensidade, efeito substituição e efeito célula, como será explicado em seguida. Existem várias formas de decompor ΔA , porém, quando as duas matrizes A são conhecidas, costuma-se usar o método RAS para tal decomposição. Esse método é usado na análise insumo-produto para encontrar a variação da matriz de coeficientes projetando o total das linhas e colunas da matriz de insumo (STONE, 1961).

No tempo t , cada setor da economia usa um mix de insumo para a produção de seus produtos. A composição desse mix, depende do estágio da tecnologia da economia, no contexto de matriz insumo-produto, o estágio da tecnologia é representado pela matriz de coeficientes técnicos A_t .

$$A_t = Z_t(\hat{x}_t)^{-1}. \quad (46)$$

Onde Z_t é a matriz de consumo intermediário e $(\hat{x}_t)^{-1}$ é a diagonal da matriz de produção. Cada elemento de A_t representa $a_{ij} = z'_{ij} / x'_j$. Desenvolvimento tecnológico, como por exemplo, inovação no produto ou no processo produtivo, ou ainda mudança de preço, induz a uma substituição no insumo, isso é expresso pela diferença entre A_1 e A_0 .

Linden e Dietzenbacher (1995) derivam a variação dos coeficientes em três fontes,

- Variação na coluna, a parte causada pela mudança na produtividade do setor j , afetando a coluna j uniformemente;
- Variação na linha, que representa o efeito substituição entre os insumos intermediários;
- Mudança na célula, que é causada por outras circunstâncias.

Para considerar o efeito intensidade é preciso definir o vetor s_j como o efeito produtividade sobre as mudanças nos coeficientes do setor j , aplicados uniformemente ao longo da coluna j de A_t . Isso reflete mais produto por unidade de insumo. É importante notar que mudanças estruturais desse tipo não alteram a forma de combinação dos insumos intermediário utilizados entre os setores.

Já para considerar o efeito substituição (linha) é preciso definir r_i que represente o efeito substituição sobre os *commodities* i aplicados uniformemente ao longo da linha i de A_t . Quando os efeitos intensidade e substituição ocorrem simultaneamente a matriz A_0 é afetada da seguinte forma,

$$\tilde{A}_1 = \hat{r}A_0\hat{s}. \quad (47)$$

Onde $\hat{r}$ e $\hat{s}$ são as matrizes diagonais de r_i e s_j respectivamente e o componente $\tilde{A}_1$ seria a matriz de coeficientes técnicos estimada. Se esses efeitos são verdadeiros, eles podem satisfazer a condição que a soma das linhas e colunas da matriz atual A_1 é igual à matriz estimada $\tilde{A}_1$. No entanto, é importante constatar que $\tilde{A}_1$ não é necessariamente igual a A_1 . A diferença entre as duas representa o terceiro termos da composição, a variação nas células específicas. Elas podem ser consideradas como resíduos não explicados, conforme a equação abaixo,

$$e = A_1 - \tilde{A}_1 = A_1 - \hat{r}A_0\hat{s}. \quad (48)$$

Segundo Miller e Blair (1985) o método RAS é capaz de estimar a matriz de coeficientes técnicos de um ano t^1 dado a matriz de coeficientes técnicos do ano anterior, t^0 , e o valor das vendas e das compras intersetoriais do ano t^1 . As vendas e compras intersetoriais são representadas por U_i e V_j respectivamente, que nada mais são que o somatório das linhas e das colunas da matriz intermediário de consumo.

$$U = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix}. \quad (49);$$

$$V = [V_1 \quad V_2 \quad \cdots \quad V_n]. \quad (50)$$

De acordo com a metodologia insumo-produto,

$$CI_1 = A_1 X_1. \quad (51)$$

Onde CI_1 é o consume intermediário e X_1 é o valor bruto da produção. Considerando que $A_0 = A_1$, tem-se,

$$\bar{CI}_1 = A_0 X_1. \quad (52)$$

O somatório das linhas e colunas do CI_1 (consumo intermediário real do ano 1), U^1 e V^1 , não é, necessariamente, igual ao somatório do $\bar{CI}_1(1)$ (consumo intermediário estimado do ano 1), representado por $U(1)$ e $V(1)$. 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.

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 . Essa nova mudança nos coeficientes constitui a primeira estimativa para alcançar U^1 . O mesmo é feito para encontrar s_i^1 , utilizando $V_i(1)/V_i^1$, para posteriormente multiplicar cada elemento deste vetor por A_0 . O processo acima é repetido quantas vezes forem necessárias para que $U(1)$ e $V(1)$ se aproximem de U^1 e V^1 verdadeiros e simultâneos.

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.

$$A_1 = r^1 A_0 s^1. \quad (53)$$

Como as matrizes A_0 e A_1 são conhecidas, é possível encontrar os três efeitos, intensidade, substituição, e erro.

Assim, considerando que $\Delta A = \hat{r} A_0 \hat{s} + \varepsilon - A_0$, reorganizando, tem-se:

$$\Delta A = [(\hat{r} - I) A_0 (\hat{s} + I)] + \varepsilon, \text{ considerando a forma polar, tem-se:}$$

$$\Delta A = (1/2)(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I) + (1/2)(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I) + \varepsilon \quad (54)$$

Substituindo ΔA (54) em ΔL (41), obtém-se:

$$\begin{aligned} \Delta L = (1/2)L_0[(1/2)(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I) + (1/2)(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I) + \varepsilon]L_1 \\ + (1/2)L_1[(1/2)(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I) + (1/2)(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I) + \varepsilon]L_0. \end{aligned} \quad (55)$$

Substituindo ΔL (55) na primeira parte de Δx (29), é possível obter a decomposição da primeira parte da equação Δx , que é a parte que representa a variação da tecnologia, como pode ser observar,

$$\left. \begin{aligned} 1/2(\Delta L)(f^0 + f^1) = (1/8)[L_0(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I)L_1 + L_1(\hat{r} - I)A_0(\hat{s} + I)L_0](f^0 + f^1) + \\ (1/8)[L_0(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I)L_1 + L_1(\hat{r} + I)A_0(\hat{s} - I)L_0](f^0 + f^1) + \\ (1/4)[L_0\varepsilon L_1 + L_1\varepsilon L_0](f^0 + f^1). \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Onde, o primeiro termo representa mudança no produto que é resultado da variação no insumo, ou seja, mede o efeito intensidade. O segundo termo, por sua vez, representa o efeito substituição, e por fim, o terceiro termo, representa as mudanças específicas nas células, o que foi determinado como o termo de erro. Porém a intenção é avaliar a emissão de CO₂, nesse sentido Dietzenbacher e Hoekstra (2002) desenvolveram a equação acima, e encontraram o resultado considerando a matriz CO₂.

Incorporando as Emissões de Dióxido de Carbono

Para avaliar a emissão de dióxido de carbono é preciso incorporar a matriz de emissão de carbono, e . Essa matriz representa a emissão de carbono por setor segundo os dados do balanço de emissões publicado pelos ministérios de Ciências e Tecnologia e o de Minas e Energia.

$$CO2 = e \cdot L \cdot f. \quad (57)$$

$$\Delta CO2 = CO2^1 - CO2^0 = e^1 L^1 f^1 - e^0 L^0 f^0. \quad (58)$$

Considerando que:

$$\Delta e = e^1 - e^0, \text{ logo, } e^0 = e^1 - \Delta e$$

$$\Delta L = L^1 - L^0 \quad \Delta f = f^1 - f^0, \text{ logo, } f^1 = \Delta f + f^0$$

Substituindo e^0 e f^1 na equação (58), temos:

$$\begin{aligned} \Delta CO2 &= e^1 \cdot L^1 \cdot (\Delta f + f^0) - (e^1 - \Delta e) L^0 \cdot f^0 \\ \Delta CO2 &= e^1 \cdot L^1 \cdot \Delta f + e^1 \cdot L^1 \cdot f^0 - e^1 \cdot L^0 \cdot f^0 + \Delta e \cdot L^0 \cdot f^0 \\ \Delta CO2 &= e^1 \cdot L^1 \cdot \Delta f + e^1 \cdot \Delta L \cdot f^0 + \Delta e \cdot L^0 \cdot f^0 \end{aligned} \quad (59)$$

Dietzenbacher e Los (1998), como já citado, afirmam que a decomposição na forma polar é mais apropriada. A equação fica da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \Delta CO2 &= 1/2(e^1 \cdot L^1 \cdot \Delta f + e^0 \cdot L^0 \cdot \Delta f) + \\ &\quad 1/2(e^1 \cdot \Delta L \cdot f^0 + e^0 \cdot \Delta L \cdot f^1) + \\ &\quad 1/2(\Delta e \cdot L^0 \cdot f^0 + \Delta e \cdot L^1 \cdot f^1). \end{aligned} \quad (60)$$

O primeiro termo representa o efeito demanda, o segundo o efeito tecnológico, e o terceiro o efeito intensidade. Considerando agora a emissão de CO₂ para a variação de L. Substituindo ΔL (56), em $\Delta CO2$, tem-se:

$$\begin{aligned} (1/8)[L_0(\hat{f} - I)A_0(\hat{s} + I)L_1 + L_1(\hat{f} - I)A_0(\hat{s} + I)L_0](e^1 f^0 + e^0 f^1) \\ (1/8)[L_0(\hat{f} + I)A_0(\hat{s} - I)L_1 + L_1(\hat{f} + I)A_0(\hat{s} - I)L_0](e^1 f^0 + e^0 f^1) \\ (1/4)[L_0 \varepsilon L_1 + L_1 \varepsilon L_0](e^1 f^0 + e^0 f^1). \end{aligned} \quad (61)$$

Nesse formato, os três termos tem o mesmo significado que na Equação (60), porém agora eles representam a variação da emissão de CO₂ e não mais a variação no produto. Substituindo Δf (38), na parte de $\Delta CO2$ que representa a variação na demanda, tem-se,

$$\begin{aligned} 1/2(e^0 \cdot \Delta f \cdot L^0 + e^1 \cdot \Delta f \cdot L^1) &= 1/2(\Delta f)(e^0 L^0 + e^1 L^1) \quad (\text{Primeiro termo da 60}) \\ \text{Tem-se: } 1/2((1/2)(\Delta f)(B^0 + B^1) + (1/2)(f^0 + f^1)(\Delta B))(e^0 L^0 + e^1 L^1) \\ 1/4(\Delta f)(B^0 + B^1)(e^0 L^0 + e^1 L^1) + (1/4)(f^0 + f^1)(\Delta B)(e^0 L^0 + e^1 L^1) \end{aligned} \quad (62)$$

Essa equação representa a decomposição da demanda segundo a intensidade de emissão. O primeiro termo representa o efeito nível e o segundo o efeito mix.

4.3 TRATAMENTOS DOS DADOS

4.3.1. Matriz insumo-produto híbrida

Para encontrar as matrizes de emissão diretas, totais e indiretas o trabalho utilizou como base de dados a Matriz Insumo-Produto brasileira de 2000 e 2005 que contempla 55 setores/atividades e 110 produtos publicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e o Balanço Energético Nacional – BEN, publicado pelo Ministério de Minas e Energia.

Foi realizada uma compatibilização da matriz 55x110 para uma matriz 22x18, adequando à estrutura da matriz de insumo brasileira à classificação das atividades do BEN. No entanto, para calcular as matrizes de emissão direta, indireta e total é preciso que a base de dados seja uma matriz quadrada, ou seja, é preciso transformar a matriz 22x18 em uma matriz 22x22, como mostra a Tabela 7.

TABELA 7: Classificação das Atividades e dos Produtos

Atividades		Produtos	
A1	Agropecuária	P1	Agropecuária
A2	IE - Petróleo e Gás Natural	P2	IE - Petróleo e Gás Natural
A3	IE - Carvão Mineral	P3	IE - Carvão Mineral
A4	IE - Minerais Metálicos	P4	IE - Minerais Metálicos
A5	IE - Minerais Não-Metálicos	P5	IE - Minerais Não-Metálicos
A6	IT - Alimentos e Bebidas	P6	IT - Alimentos e Bebidas
A7	IT - Têxtil e Vestuário	P7	IT - Têxtil e Vestuário
A8	IT - Outras Indústrias	P8	IT - Outras Indústrias
A9	IT - Papel e Celulose	P9	IT - Papel e Celulose
A10	IT - Refino de Petróleo	P10	IT - RP - Gás liquefeito de petróleo
		P11	IT - RP - Gasolina
		P12	IT - RP - Óleo Combustível
		P13	IT - RP - Óleo Diesel
		P14	IT - RP - Outros Produtos de Refino de Petróleo e Coque
A11	IT - RP e Biocombustíveis- Álcool	P15	IT - RP e Biocombustíveis- Álcool
A12	IT - Indústria Química	P16	IT - Indústria Química
A13	IT - Cimentos	P17	IT - Cimentos
A14	IT - Metalurgia	P18	IT - Metalurgia
A15	Eletricidade	P19	Eletricidade
A16	Comércio e Serviço	P20	Comércio e Serviço
A17	Transporte e Correios	P21	Transporte e Correios
A18	Setor Público	P22	Setor Público

Fonte: Elaboração Própria.

Nota: IE – Indústria Extrativa; IT – Indústria de Transformação; RP – Refino de Petróleo.

Para obter esse resultado utilizou-se a hipótese de Market-Share e a hipótese da tecnologia dos setores apresentada em Feijó *et al.* (2008). Segundo os autores, as tabelas disponíveis para calcular a matriz de coeficientes técnicos diretos (de 22 x 22 com dados de 22 x 18) estão apresentadas na Tabela 8.

TABELA 8: Elementos para o Cálculo da Matriz de Coeficientes Técnicos Diretos

	Produto Nacional	Atividades	Demanda Final	Valor da Produção
Produtos Nacionais		Un.= Z	Fn = Y	Q
Produtos Importados		Um	Fm	
Atividades	V			G
Impostos		Tp		
Valor Adicional		y'		
Valor da Produção	q' = X	g'		

Fonte: FEIJÓ *et al.*, 2008.

Onde:

V = Matriz de Produção (Atividade Por Produto)

q = Vetor com o valor bruto da produção Total

Un. = Matriz de consumo Intermediário Nacional

Um = Matriz de Consumo Intermediário Importado

Fn = Matriz da demanda Final por produtos Nacional

Fm = Matriz de Demanda Final por Produto Importado

$$q = Un \cdot i + Fn. \quad (23)$$

Para descobrir como a demanda por produto é transformada em atividade, é necessário alocar a demanda por cada produto proporcionalmente ao seu valor de produção pelas atividades, essa é a hipótese de Market-Share, D (FEIJÓ *et al.*, 2008).

$$D = V' \cdot (q)^{-1}. \quad (24)$$

Onde cada elemento de D é calculado por $d_{ji} = \frac{v_{ji}}{q_j}$ (25)

O elemento d_{ji} representa a participação percentual do produto i na produção total da atividade j . Uma vez conhecida a demanda das atividades, para determinar seus insumos é

preciso considerar que sempre que os insumos (produtos) são proporcionais à produção total de cada atividade. Ainda é considerada a hipótese de como a estrutura de insumos é determinada. Admiti-se que a tecnologia é uma característica das atividades, ou seja, a tecnologia para a produção dos produtos é determinada pela atividade que os produz, essa é a hipótese de tecnologia do setor, Bn (FEIJÓ *et al.*, 2008).

$$Bn = Un \cdot (g)^{-1}. \quad (26)$$

$$\text{Onde cada elemento de } Bn \text{ é calculado por } bn_{ji} = \frac{un_{ji}}{g_j} \quad (27)$$

Cada elemento bn_{ji} representa a participação do produto i no consumo total da atividade j .

Substituindo (26) na Equação (23), tem-se:

$$\begin{aligned} q &= Bn \cdot (g) \cdot i + Fn. \\ q &= Bn \cdot g + Fn. \end{aligned} \quad (28)$$

Multiplicando os dois lados da Equação (24) pelo vetor i , tem-se:

$$V \cdot i = D \cdot (q)^{-1} \cdot i. \quad (29)$$

E substituindo a Equação (29) na (28) tem-se:

$$q = Bn \cdot D \cdot q + Fn. \quad (30)$$

Essa Equação (30) pode ser escrita como um modelo insumo-produto relacionando os produtos:

$$q = (I - Bn \cdot D)^{-1} \cdot Fn. \quad (31)$$

Ou ainda, substituindo a Equação (28) na (29) obtém-se uma equação para o modelo insumo-produto para as atividades, exatamente o que foi feito no presente trabalho:

$$\begin{aligned} g &= D(Bn \cdot g + Fn) \\ g &= D \cdot Bn \cdot g + D \cdot Fn \\ g &= (I - D \cdot Bn)^{-1} \cdot (D \cdot Fn). \end{aligned} \quad (32)$$

As Equações (31) e (32) formam dois sistemas de Leontief que relacionando os valores da produção, por produto e por atividade, com as respectivas demandas finais, onde:

$D \cdot Bn$ = Matriz de Coeficientes técnicos diretos atividade por atividade

$Bn \cdot D$ = Matriz de Coeficientes técnicos diretos Produto por Produto

$D \cdot Fn$ = Demanda Final por atividades

4.3.2 Tratamento de dados para SDA

Já para aplicar a análise de decomposição estrutural, foram utilizados os mesmos dados das matrizes insumo-produto brasileira de 2000 e 2005, que foram agrupados nos mesmos 22 setores, no entanto, para SDA não foram utilizados os dados do BEN e sim os dados do balanço de emissões, energia equivalente e final disponíveis para os anos de 2000 e 2005 providos pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Ministérios de Minas e Energia - MME como consta na Tabela 9.

TABELA 9: Intensidade setorial de emissão de CO₂ para o Brasil em 2000 e 2005

	Emissão 2000 Gg/ano	Emissão 2005 Gg/ano
Agropecuária	19.533,32	22.102,88
Petróleo e Gás Natural	8.920,28	12.215,31
Carvão Mineral	5.601,21	7.166,04
Minerais Metálicos	6.461,88	8.105,21
Minerais Não-Metálicos	9.491,71	10.219,94
Alimentos e Bebidas	35.895,94	51.426,01
Têxtil e Vestuário	1.554,97	1.495,56
Outras Indústrias	9.194,45	8.829,52
Papel e celulose	17.000,47	21.048,43
Gás Liquefeito de Petróleo	1.033,44	1.111,00
Gasolina	10.728,15	11.370,49
Óleo Combustível	1.603,36	2.376,45
Óleo Diesel	5.642,06	10.226,87
Outros Refinos de Petróleo	4.266,32	7.082,14
Álcool	3.357,59	3.228,02
Química	14.549,78	14.982,22
Cimentos	11.721,43	10.156,76
Metalurgia	58.933,06	67.718,06
Eletricidade	0,00	0,00
Comércio e Serviço	2.648,96	2.424,70
Transporte	125.584,84	138.849,98
Público	2.101,48	1.723,06

Fonte: Balanço de Emissões, energia equivalente e final (BRASIL, 2007).

4.3.3 Deflacionando as Matrizes

Para comparar matrizes de insumo-produto de anos diferentes, é importante considerar o efeito que a variação de preços gera no produto e no consumo intermediário. Um dos métodos para eliminar o efeito da inflação sobre as tabelas de insumo-produto é chamado de dupla deflação¹⁰ (MILLER e BLAIR, 2009).

Esse método apresenta-se em dois passos, o primeiro consistem em deflacionar os insumos intermediários, a demanda final e o produto, avaliados a períodos correntes, utilizando o índice de preço do setor. O segundo passo consiste em derivar um índice de preços ao valor acrescentado que equilibra a identidade fundamental, ou seja, diz que o valor total do produto deve ser sempre igual ao valor total dos insumos.

Em outras palavras, pode-se dizer que o índice de preços considerados é simplesmente a razão dos preços de um produto em um ano qualquer com o preço correspondente aos preços do ano base.

Considerando que z_{ij} é a matriz de consumo intermediário, p_i é o preço por unidade física, e s_{ij} é a transação em unidades físicas da produção da indústria i pela indústria j , tem-se:

$$z_{ij} = p_i s_{ij}. \quad (33)$$

Considerando o subscrito para representar o período, tem-se:

$$s_{ij} = \frac{z_{ij}^1}{p_i^1} = \frac{z_{ij}^2}{p_i^2} = \dots = \frac{z_{ij}^t}{p_i^t} = \dots = \frac{z_{ij}^n}{p_i^n} \text{ para } 1, 2, \dots, n \text{ períodos.} \quad (34)$$

Escolhendo um ano arbitrariamente para ser a referencia ou o ano base (b), pode-se dizer que:

$$s_{ij} = \frac{z_{ij}^b}{p_i^b} = \frac{z_{ij}^t}{p_i^t} \text{ ou ainda, } z_{ij}^b = \left(\frac{p_i^b}{p_i^t} \right) z_{ij}^t. \quad (35)$$

¹⁰ O *software* utilizado para calcular a deflação foi o Microsoft Excel.

O termo $\left(\frac{p_i^b}{p_i^t}\right)$ refere-se ao índice de preço da indústria i no ano t relativo referente ao ano b .

A demanda final e o produto são definidos da mesma forma. $f_i = p_i d_i$. e $q_i = p_i x_i$. respectivamente.

$$d_i = \frac{f_i^1}{p_i^1} = \frac{f_i^2}{p_i^2} = \dots = \frac{f_i^t}{p_i^t} = \dots = \frac{f_i^n}{p_i^n} \text{ e } q_i = \frac{x_i^1}{p_i^1} = \frac{x_i^2}{p_i^2} = \dots = \frac{x_i^t}{p_i^t} = \dots = \frac{x_i^n}{p_i^n} \quad (36)$$

Para introduzir o ano base (b), pode-se considerar,

$$d_i = \frac{f_i^b}{p_i^b} = \frac{f_i^t}{p_i^t} \text{ e } q_i = \frac{x_i^b}{p_i^b} = \frac{x_i^t}{p_i^t} \text{ ou ainda,}$$

$$f_i^b = \left(\frac{p_i^b}{p_i^t}\right) f_i^t \text{ e } x_i^b = \left(\frac{p_i^b}{p_i^t}\right) x_i^t. \quad (37)$$

Se definirmos $\pi_i^t \left(\frac{p_i^b}{p_i^t}\right)$ como o índice de preços ou como o deflator da indústria i , então pode-se escrever

$$z_{ij}^b = \pi_i^t z_{ij}^t, \quad f_i^b = \pi_i^t f_i^t \text{ e } x_i^b = \pi_i^t x_i^t. \quad (38)$$

Considerando a forma matricial das equações acima, desde que a demanda, o produto e o consumo intermediário tenham sido deflacionados pelo mesmo índice de preços, então:

$$Z^b = (\hat{\pi})^t Z_i^t \quad f^b = (\hat{\pi})^t f_i^t \text{ e } x^b = (\hat{\pi})^t x_i^t. \quad (39)$$

Esse método, embora amplamente utilizada apresente algumas desvantagens para deflacionar modelos insumo-produto. Porém, segundo Miller e Blair (2009) ele ainda apresenta menos problemas do que o método de deflacionamento de toda a série por um índice de preços específicos, por que dessa forma, não se considera as peculiaridades de cada indústria.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta e discute os resultados da Matriz Insumo-Produto Híbrida e da Análise de Decomposição Estrutural.

Considerando que a decomposição estrutural emprega a análise de insumo-produto como ferramenta, estimando os requerimentos energéticos causados pela demanda final, pode-se dividir a intensidade de energia em sua parte direta e indireta. Portanto, antes de tudo, serão apresentados os resultados da variação do consumo energético da economia brasileira, para os anos de 2000 e 2005 bem como a oferta interna de energia - OIE.

A segunda seção analisa a variação da intensidade de carbono na economia brasileira, por setor, considerando o uso de petróleo e gás natural, os derivados de petróleo – gás liquefeito de petróleo, gasolina, óleo diesel, óleo combustível e outros refinados de petróleo – além de álcool. Esses resultados estão expressos na forma de matriz direta, total e indireta associada à emissão de CO₂.

Uma vez apresentada a evolução dos requerimentos energéticos e a intensidade de CO₂ da demanda final dos 22 setores da economia brasileira, passa-se para a apresentação dos resultados da Análise de Decomposição Estrutural.

Finalmente, na quarta seção serão apresentados os resultados da decomposição estrutural das mudanças nas emissões de CO₂. Entretanto, como são apenas consideradas as emissões que resultam do uso das fontes energéticas, os resultados da decomposição não se modificam muito em comparação com os resultados do consumo energético, diferindo apenas segundo a variação do mix de energéticos ao longo do tempo. Uma das diferenças mais marcantes é a inclusão de um fator adicional no caso da decomposição das emissões – a composição da matriz energética por suas fontes. Portanto, no caso das mudanças nas emissões de CO₂ serão apresentados os resultados de uma forma mais geral, enfocando as diferenças da contribuição dos fatores às mudanças das emissões de CO₂ totais da economia brasileira.

5.1 EVOLUÇÃO DO CONSUMO E DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL

A energia que atende as necessidades da sociedade em geral, movimentando a indústria, o transporte, o comércio e os demais setores, recebe a denominação de consumo final no Balanço Energético Nacional. A energia encontrada na natureza, por sua vez, não se encontra em condições de ser utilizado diretamente, é necessário passar por centros de transformação como as refinarias, centrais hidroelétricas, centrais térmicas, centrais nucleares, plantas de gás entre outros, onde a energia passará por um processo de transformação (BRASIL, 2008).

O setor de energia compreende todo o conjunto de atividades envolvidas na produção, transporte, estocagem, distribuição e comercialização de energia. Porém há perdas de energia durante esses processos por isso, o BEN, define como Oferta Interna de Energia – OIE – a soma do consumo final energético, das perdas nos transportes, distribuição, e armazenamento com as perdas nos processos de transformação (BRASIL, 2008).

De 2000 para 2005, período contemplado por essa pesquisa, a Oferta Interna de Energia cresceu 10%, passando de 190.615×10^3 TEP para 218.663×10^3 TEP. Em 2000 cerca de 41% da OIE tinham origem em fontes renováveis, enquanto que em 2005 esse valor sobe para 42,5%. A oferta interna cresceu acompanhando o aumento do consumo de energia que foi positivo para todos os setores entre 2000 e 2005, com exceção do setor de cimento, como mostra o Gráfico 5.

Considerando a participação das fontes na composição da matriz energética nacional, de 2000 para 2005, praticamente todas as fontes apresentaram um aumento de OEI, como mostra o Gráfico 5, com exceção de petróleo e derivados que apresentou uma queda de 3%. O gás natural aparece com destaque com um aumento de 100% do consumo.

Como já citado, grande parte do aumento da oferta do gás natural tem origem na construção do gasoduto Brasil-Bolívia. Os derivados da cana-de-açúcar também apresentam um crescimento relevante, cerca de 45%.

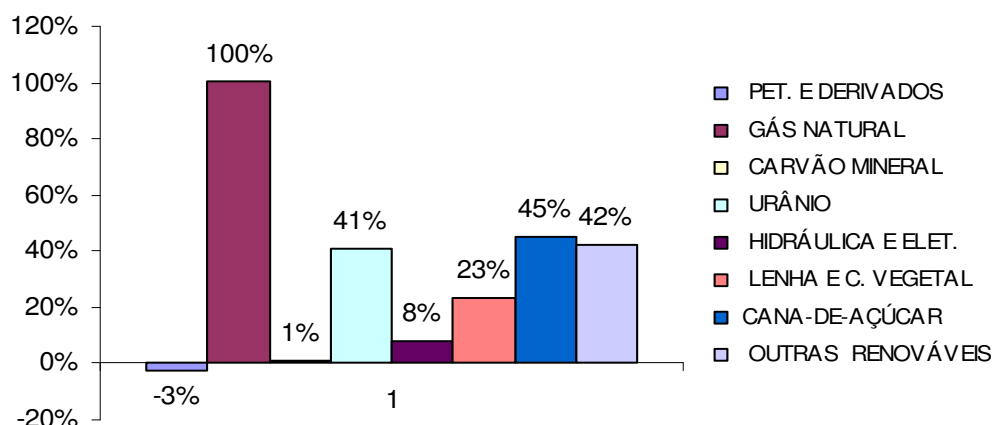


GRÁFICO 5: Diferença da OIE de 2000 para 2005

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

Se destacarmos da OIE o consumo final por fonte (ver Tabela 10) é possível perceber que óleo combustível e o gás liquefeito de petróleo são os derivados do petróleo com maior queda entre as fontes consideradas por esse trabalho, com 31% e 9% respectivamente.

TABELA 10: Consumo final por fonte de energia nos anos 2000 e 2005

	2000 TEP	2005 TEP	Variação
Gás Natural	7.115	13.410	88%
Carvão Mineral	2.841	3.519	24%
Lenha	13.627	16.119	18%
Bagaço-de-Cana	13.381	21.147	58%
Outras Fontes Prim. Renováveis	3.000	4.249	42%
Eletricidade	28.509	32.267	13%
Carvão Vegetal	4.814	6.248	30%
Álcool Etílico	6.457	7.321	13%
Subtotal Derivados de Petróleo	84.234	83.683	-1%
Óleo Diesel	29.505	32.382	10%
Óleo Combustível	9.500	6.574	-31%
Gasolina	13.319	13.638	2%
Gás Liquefeito de Petróleo	7.844	7.121	-9%
Nafta	8.102	7.277	-10%
Querosene	3.242	2.602	-20%
Gás Canalizado	85	0	-100%
Outras Secundárias de Petróleo	8.186	9.589	17%

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2008).

Nota: consumo médio em TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo.

Considerando o consumo final por setor, é possível constatar, Gráfico 6, que os setores: energético, ferro-liga e alimento e bebidas, apresentaram os maiores aumentos.

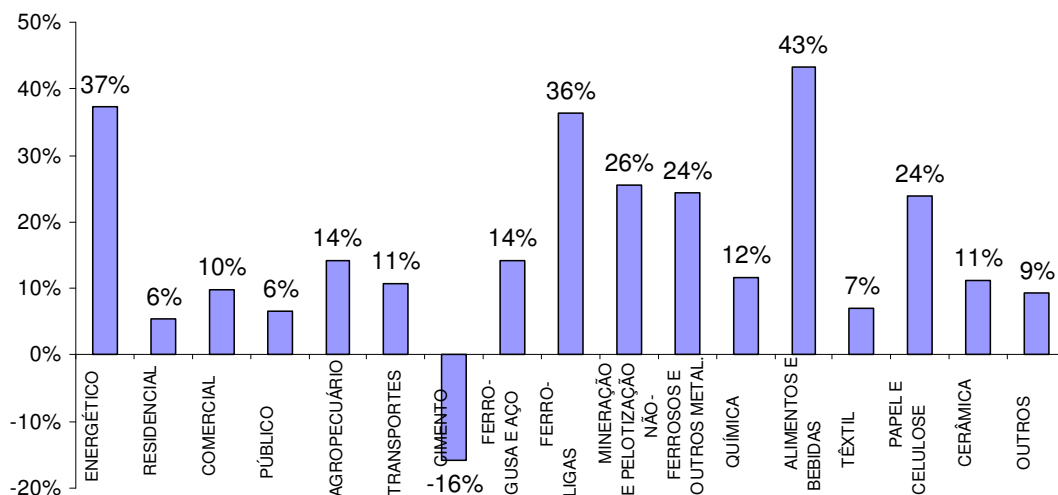


GRÁFICO 6: Diferença do consumo final por setor de 2000 para 2005

Fonte: Elaborado a partir de dados do Balanço Energético Nacional.

A próxima seção apresenta os resultados dessas mudanças para o modelo insumo-produto híbrido.

5.2 RESULTADOS DA MIPH

A matriz insumo-produto híbrida mensura a intensidade de energia necessária no processo de produção de uma indústria, além da energia requerida para a produção dos insumos utilizados por essa indústria. As Tabelas 11 e 12 apresentam os requerimentos totais dos energéticos produzidos por setor nos anos de 2000 e 2005, respectivamente.

Por exemplo, caso haja um aumento de R\$ 1.000.000 na demanda final do setor agropecuário, haverá um aumento no consumo de álcool de 2,99 TEP (ou $0,00299 \times 10^3$ TEP). De acordo com a tabela de conversão, esse aumento é equivalente a $1,60\text{m}^3$ de álcool em 2000. Já em 2005, o aumento no consumo de álcool dado um aumento na demanda do setor agropecuário seria de 1,865 TEP, o equivalente a $0,99\text{m}^3$ de álcool. Essa diferença representa uma variação tecnológica no setor agropecuário de 2000 para 2005.

Agregando-se os requerimentos totais de todos os energéticos em todos os setores, tem-se o aumento no consumo do recurso energético caso a demanda final, em todos os setores, aumente em R\$ 1.000.000 ou 1.000 TEP, quando o setor é energético. Dessa forma, contata-se que em 2000 e em 2005 os energéticos mais demandados foram: outros refinos de petróleo, petróleo e gás natural e eletricidade. O menos demandado tanto em 2000 quanto em 2005 foi gás liquefeito de petróleo.

Na Figura 1, destacam-se as intensidades totais dos energéticos contemplados no presente trabalho para os dois períodos em questão. São eles: Petróleo e gás natural, gás liquefeito de petróleo, gasolina, álcool, óleo combustível, óleo diesel e eletricidade.

Em relação a petróleo e gás natural nota-se que um aumento de intensidade total em todos os setores com exceção de cimento e metalurgia. O óleo combustível, por sua vez, apresenta uma queda na intensidade total para todos os setores, com destaque para a queda significativa do setor cimento.

Considerando a intensidade total dado o consumo de gás liquefeito de petróleo, é possível notar que todos os setores, com exceção de cimento, apresentaram queda na intensidade total de 2000 para 2005, com destaque para minerarias metálicos.

O setor transporte aparece como destaque quanto à intensidade total de energia ao que se refere o consumo de óleo diesel, gasolina, álcool e petróleo e gás natural. No entanto, houve uma queda de intensidade de 2000 para 2005 considerando o consumo dos três primeiros energéticos.

O destaque considerando o consumo de outros refinos de petróleo, mais uma vez, é o setor cimento, que apresenta índices de intensidade total bem alto, apesar da queda de 2000 para 2005. Esse setor, junto com o setor transporte, merece destaque já que apresenta altos índices de intensidade total considerando o consumo de várias fontes de energia diferentes, como é possível observar na Figura 1.

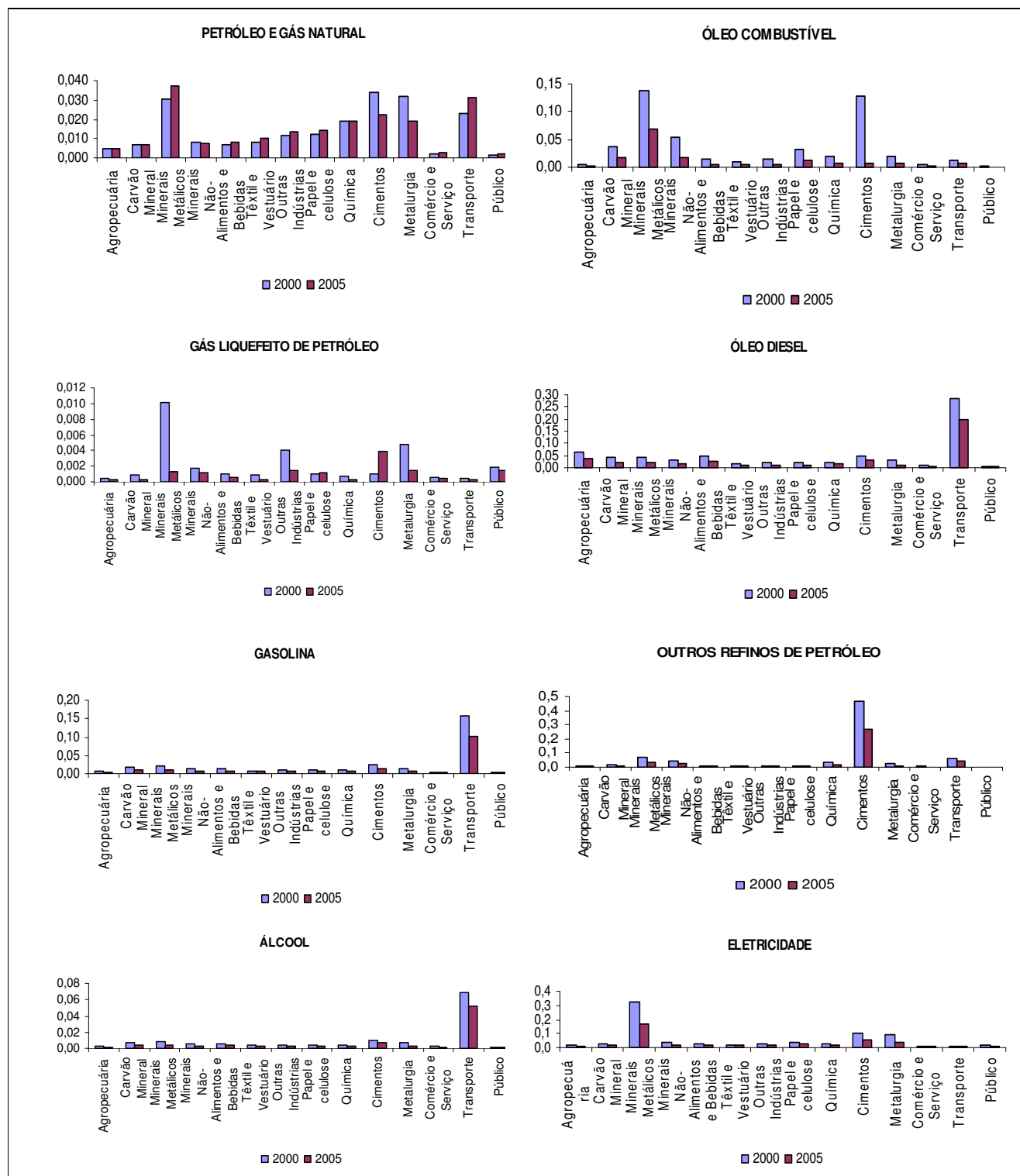


FIGURA 1: Intensidade total dos principais energéticos do Brasil em 2000 e 2005

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

O primeiro gráfico da Figura 1 diz que os setores: minerais metálicos, cimento, metalurgia e transporte apresentam-se como os setores que mais requerem petróleo e gás natural. No entanto, é importante destacar que os setores minerais metálicos e transporte tiveram um aumento de requerimento de 2000 para 2005, enquanto cimento e metalurgia tiveram uma diminuição nesse período.

Consideram o óleo combustível como insumo, o setor cimento apresenta uma queda significativa na intensidade ou requerimento de óleo combustível. Isso quer dizer que, um aumento de R\$ 1.000.000 na demanda final do setor cimento, representaria em 2000 um aumento no consumo de óleo combustível de 12,8 TEP enquanto que esse valor cai para 0,77 TEP em 2005.

O setor transporte, apresenta a maior intensidade de álcool, gasolina e óleo diesel, no entanto, nos três casos, a intensidade requerida diminui de 2000 para 2005. Fato que deve estar associado, como já dito, a variação tecnológica de um período para o outro.

Procedendo a decomposição dos **requerimentos totais** de energia (anexo 3) apresentam os **requerimentos diretos** dos energéticos (anexo 4) considerados por setor de atividade. O requerimento direto informa a quantidade de recurso energético (em TEP) por cada R\$1.000.000 produzido pelo setor e para cada um TEP de produção do setor energético.

Por exemplo, o setor agropecuário tem um requerimento direto de 1,15 TEP de eletricidade para cada R\$1.000.000 de valor da produção. Isso representa 60% do requerimento total de eletricidade do setor (19,3TEP/R\$mil), ver Anexo 1. Dentre os resultados, cabe destacar para o ano de 2000 o requerimento direto do setor cimento que correspondia a 90% do requerimento de outros refinados de petróleo. E para 2005, destacam-se os requerimentos diretos de gasolina e álcool do setor de transporte (ver Anexo 4). Os valores acima da unidade observados nos setores energéticos ocorrem, pois um aumento unitário na demanda final elevará a produção do setor em, no mínimo, uma unidade.

A Figura 2 apresenta a diferença entre as intensidades energéticas diretas das principais fontes de energia entre 2000 e 2005. Percebe-se que de uma forma geral houve uma diminuição na intensidade energética direta dos setores da economia brasileira. Esse fato pode ser explicado por um avanço tecnológico nos processos produtivos de uma forma geral, ou por uma substituição entre fontes de energia. Essa questão será esclarecida pelos resultados da análise

de decomposição estrutural que decompõe a variação do produto em efeito tecnológico (intensidade e substituição) e efeito demanda.

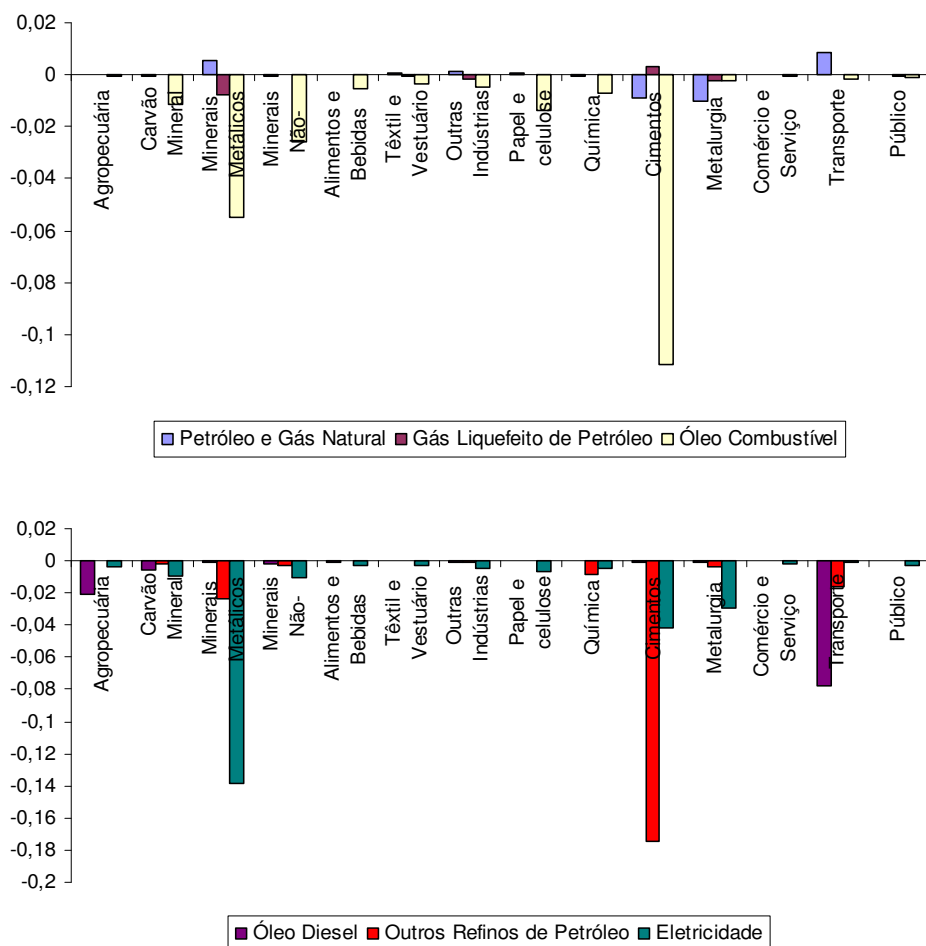


FIGURA 2: Diferença entre a Intensidade Direta dos principais energéticos do Brasil entre 2000 e 2005

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

Ainda sobre os resultados da matriz insumo-produto híbrida, é importante destacar os efeitos das variações nos requerimentos indiretos. Os **requerimentos indiretos** de energia em cada setor para os anos de 2000 e 2005 estão apresentados nos Anexo 5 e 6.

Conforme consta nos Anexo 3 e 4, o setor agropecuário não utiliza álcool diretamente na sua produção em 2000 e 2005, no entanto, um aumento na demanda final desse setor elevaria o consumo de álcool na economia em 2,99 TEP/R\$mil em 2000 (Anexo 5) e 4,63TEP/R\$mil em 2005 (Anexo 6). Esse resultado mostra como as inter-relações entre os setores também é

importante na determinação dos efeitos de um aumento da demanda final sobre o consumo de energia.

No entanto, o objetivo do trabalho é verificar a variação na intensidade de emissão de CO₂. Consequentemente é apresentada a comparação entre os requerimentos diretos, totais e indiretos de energia dada à intensidade de emissão de CO₂ para os anos de 2000 e 2005 apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13 respectivamente¹¹.

TABELA 11: Variação da intensidade total de CO₂

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	100%	63%	53%	35%	56%	60%	62%	0%
Carvão Mineral	100%	40%	52%	52%	60%	57%	61%	0%
Minerais Metálicos	98%	34%	52%	48%	53%	55%	61%	0%
Minerais Não-Metálicos	121%	12%	45%	50%	48%	54%	53%	0%
Alimentos e Bebidas	87%	68%	50%	30%	53%	61%	59%	0%
Têxtil e Vestuário	116%	63%	59%	34%	63%	62%	69%	0%
Outras Indústrias	126%	39%	70%	37%	74%	68%	81%	0%
Papel e celulose	112%	35%	58%	37%	62%	64%	67%	0%
Química	116%	109%	62%	40%	69%	65%	72%	0%
Cimentos	166%	100%	106%	84%	119%	140%	124%	0%
Metalurgia	118%	68%	100%	71%	92%	102%	98%	0%
Comércio e Serviço	266%	119%	146%	100%	164%	230%	171%	0%
Transporte	178%	77%	95%	84%	100%	154%	111%	0%
Público	156%	72%	91%	52%	101%	101%	107%	0%
Petróleo e Gás Natural	177%	101%	86%	64%	89%	94%	100%	0%
Gás Liquefeito de Petróleo	97%	53%	55%	34%	61%	57%	64%	0%
Gasolina	65%	374%	55%	6%	62%	58%	64%	0%
Óleo Combustível	59%	30%	37%	38%	40%	49%	43%	0%
Óleo Diesel	248%	87%	93%	95%	82%	111%	109%	0%
Outros Refinos de Petróleo	126%	81%	66%	38%	70%	68%	77%	0%
Álcool	135%	57%	64%	65%	70%	63%	75%	0%
Eletricidade	134%	77%	66%	37%	69%	67%	77%	0%

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

A Tabela 11 apresenta as variações entre as intensidades totais de emissão de 2000 para 2005. Por exemplo, um aumento na demanda final do setor agropecuário de R\$1.000.000 implica em um aumento na emissão total de CO₂, consequência do consumo de álcool, 62% maior em 2005 se comparado a 2000. Assim como as variações de intensidade direta, nas variações totais da intensidade de CO₂ destaca-se o consumo de petróleo e gás natural.

¹¹ As últimas linhas, em cinza, representam os setores energéticos, das tabelas 11 a 13 e da 16 a 23.

TABELA 12: Variação da intensidade direta de CO₂

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Elettricidade
Agropecuária	515%	75%	0%	31%	56%	43%	0%	0%
Carvão Mineral	101%	212%	0%	120%	97%	242%	0%	0%
Minerais Metálicos	3%	0%	0%	52%	40%	33%	0%	0%
Minerais Não-Metálicos	131%	11%	0%	50%	51%	51%	0%	0%
Alimentos e Bebidas	44%	79%	0%	30%	41%	76%	0%	0%
Têxtil e Vestuário	121%	65%	0%	29%	59%	50%	0%	0%
Outras Indústrias	122%	25%	0%	29%	19%	11%	0%	0%
Papel e celulose	125%	32%	0%	28%	46%	62%	0%	0%
Química	115%	133%	0%	39%	113%	23%	0%	0%
Cimentos	161%	0%	0%	78%	183%	142%	0%	0%
Metalurgia	114%	293%	0%	107%	160%	101%	0%	0%
Comércio e Serviço	261%	0%	0%	0%	347%	231%	0%	0%
Transporte	175%	0%	0%	0%	233%	155%	0%	0%
Público	152%	30%	0%	5%	148%	134%	0%	0%
Petróleo e Gás Natural	436%	271%	0%	66%	43%	98%	0%	0%
Gás Liquefeito de Petróleo	95%	61%	0%	30%	78%	56%	0%	0%
Gasolina	19%	848%	0%	3%	82%	58%	0%	0%
Óleo Combustível	52%	33%	0%	42%	52%	57%	0%	0%
Óleo Diesel	324%	123%	0%	98%	54%	24%	0%	0%
Outros Refinos de Petróleo	205%	90%	49%	22%	52%	27%	58%	0%
Álcool	390%	55%	64%	78%	69%	51%	75%	0%
Elettricidade	448%	77%	0%	17%	47%	0%	0%	0%

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

A Tabela 12 diz que caso ocorresse um aumento de R\$ 1.000.000 na demanda final do setor agropecuário, por exemplo, a emissão direta de CO₂ gerada pelo consumo de gás liquefeito de petróleo é 75% maior em 2005 do que em 2000. Entre os setores energéticos, destaca-se o consumo de petróleo e gás natural cuja variação na intensidade direta de CO₂ é maior que 100% comparando 2000 com 2005 para todos os setores, destacando-se o setor agropecuário (515%) e eletricidade (448%).

A Tabela 13 apresenta as variações de intensidade indireta de CO₂. Como foi visto o setor agropecuário não consome álcool diretamente, mas um aumento na demanda final do setor geraria um aumento na demanda por álcool indiretamente. Essa influencia indireta representa um aumento na emissão de CO₂ de 62% em 2005 se comparada a 2000. Novamente, o setor petróleo/gás natural apresenta a maior contribuição entre os energéticos.

TABELA 13: Variação da intensidade indireta de CO₂

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eleticidade
Agropecuária	100%	55%	53%	36%	57%	60%	62%	0%
Carvão Mineral	100%	40%	52%	41%	56%	54%	61%	0%
Minerais Metálicos	105%	40%	52%	40%	57%	58%	61%	0%
Minerais Não-Metálicos	107%	23%	45%	47%	48%	59%	53%	0%
Alimentos e Bebidas	92%	55%	50%	29%	54%	55%	59%	0%
Têxtil e Vestuário	114%	61%	59%	40%	63%	62%	69%	0%
Outras Indústrias	129%	53%	70%	44%	75%	70%	81%	0%
Papel e celulose	104%	42%	58%	45%	62%	64%	67%	0%
Química	116%	77%	62%	44%	67%	66%	72%	0%
Cimentos	207%	100%	106%	85%	116%	133%	124%	0%
Metalurgia	151%	66%	100%	69%	92%	107%	98%	0%
Comércio e Serviço	317%	119%	146%	100%	162%	222%	171%	0%
Transporte	211%	77%	95%	84%	100%	147%	111%	0%
Público	186%	78%	91%	71%	101%	100%	107%	0%
Petróleo e Gás Natural	165%	84%	86%	59%	91%	94%	100%	0%
Gás Liquefeito de Petróleo	100%	51%	55%	38%	60%	59%	64%	0%
Gasolina	87%	65%	55%	33%	59%	63%	64%	0%
Óleo Combustível	73%	23%	37%	37%	39%	43%	43%	0%
Óleo Diesel	193%	82%	93%	74%	100%	111%	109%	0%
Outros Refinos de Petróleo	123%	74%	66%	39%	71%	68%	77%	0%
Álcool	98%	57%	65%	49%	70%	75%	76%	0%
Eleticidade	127%	73%	66%	46%	71%	68%	77%	0%

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

Como foi dito anteriormente, existem indícios que houve algumas substituições entre as fontes de energia, entre elas destaca-se a substituição de óleo combustível por gás natural. No entanto, para avaliar a mudança dos setores quanto ao nível de poluição é necessário observar os *ranks* dos coeficientes diretos e totais quanto a intensidade de emissão de CO₂ para cada uma das fontes.

As Tabelas 14 e 15 apresentam a mudança de posição dos setores quanto à intensidade de emissão de CO₂ referente ao consumo de gás natural e óleo combustível. Os valores dos coeficientes quanto à intensidade de emissão de carbono medem o quanto o setor polui dado o consumo de energia usado.

TABELA 14: *Rank* das Intensidades Diretas de CO₂ do gás natural e do óleo combustível para os anos de 2000 e 2005

<i>Rank</i>	Gás Natural 2000	Intensidade De CO ₂	<i>Rank</i>	Gás Natural 2005	Intensidade De CO ₂	<i>Rank</i>	Óleo Combustível 2000	Intensidade De CO ₂	<i>Rank</i>	Óleo Combustível 2005	Intensidade De CO ₂
1	Gasolina	0,05082	1	Gasolina	0,05809	1	Cimentos	0,10122	1	Minerais Metálicos	0,03779
2	Outros refinos	0,02197	2	Outros refinos	0,03344	2	Minerais Metálicos	0,09761	2	Eletricidade	0,02766
3	Metalurgia	0,01543	3	Óleo Combustível	0,02791	3	Minerais não-metálicos	0,03306	3	Carvão Mineral	0,01446
4	Petróleo e Gás Natural	0,01541	4	Óleo Diesel	0,02123	4	Eletricidade	0,02820	4	Álcool	0,01356
5	Minerais Metálicos	0,01291	5	Petróleo e gás natural	0,01554	5	Carvão Mineral	0,02117	5	Minerais não-metálicos	0,01187
6	Óleo Diesel	0,01213	6	Minerais Metálicos	0,01298	6	Álcool	0,02063	6	Papel e celulose	0,00819
7	Óleo Combustível	0,01071	7	GLP	0,01120	7	Papel e celulose	0,01991	7	Transporte	0,00387
8	Química	0,00819	8	Metalurgia	0,00805	8	Química	0,00926	8	Cimentos	0,00309
9	Cimentos	0,00792	9	Química	0,00725	9	Alimentos e bebidas	0,00688	9	Química	0,00259
10	GLP	0,00695	10	Transporte	0,00667	10	Transporte	0,00608	10	Petróleo e gás natural	0,00236
11	Papel e celulose	0,00452	11	Eletricidade	0,00546	11	Outras indústrias	0,00588	11	Alimentos e bebidas	0,00169
12	Outras indústrias	0,00315	12	Papel e celulose	0,00546	12	Têxtil e Vestuário	0,00407	12	Outras indústrias	0,00133
13	Têxtil e Vestuário	0,00228	13	Outras indústrias	0,00316	13	Metalurgia	0,00319	13	Metalurgia	0,00133
14	Transporte	0,00209	14	Têxtil e Vestuário	0,00274	14	Petróleo e gás natural	0,00196	14	Têxtil e Vestuário	0,00116
15	Eletricidade	0,00169	15	Cimentos	0,00180	15	Agropecuária	0,00099	15	Agropecuária	0,00029
16	Alimentos e bebidas	0,00125	16	Alimentos e bebidas	0,00130	16	Público	0,00091	16	Gasolina	0,00014
17	Minerais não-metálicos	0,00061	17	Álcool	0,00079	17	Outros refinos	0,00058	17	Público	0,00012
18	Carvão Mineral	0,00034	18	Minerais não-metálicos	0,00032	18	Comércio e serviço	0,00040	18	Comércio e serviço	0,00008
19	Álcool	0,00018	19	Comércio e serviço	0,00013	19	Gasolina	0,00013	19	GLP	0,00008
20	Comércio e serviço	0,00007	20	Público	0,00008	20	GLP	0,00010	20	Outros refinos	0,00003
21	Público	0,00002	21	Agropecuária	0,00001	21	Óleo Combustível	0,00000	21	Óleo Combustível	0,00000
22	Agropecuária	0,00000	22	Carvão Mineral	0,00001	22	Óleo Diesel	0,00000	22	Óleo Diesel	0,00000

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

Nota: GLP - Gás Liquefeito de Petróleo.

TABELA 15: *Rank* das Intensidades Totais de CO₂ do gás natural e do óleo combustível para os anos de 2000 e 2005

<i>Rank</i>	Gás Natural 2000	Intensidade De CO2	<i>Rank</i>	Gás Natural 2005	Intensidade De CO2	<i>Rank</i>	Óleo Combustível 2000	Intensidade De CO2	<i>Rank</i>	Óleo Combustível 2005	Intensidade De CO2
1	Petróleo e gás natural	0,74168	1	Petróleo e gás natural	0,75169	1	Óleo Combustível	0,88393	1	Óleo Combustível	0,88436
2	Gasolina	0,05588	2	Gasolina	0,06687	2	Minerais Metálicos	0,12241	2	Minerais Metálicos	0,04683
3	Outros Refinos	0,02443	3	Outros Refinos	0,03841	3	Cimentos	0,11354	3	Elettricidade	0,03043
4	Cimentos	0,02434	4	Óleo Combustível	0,03201	4	Minerais não-metálicos	0,04789	4	Carvão Mineral	0,01754
5	Metalurgia	0,02290	5	Óleo Diesel	0,02434	5	Carvão Mineral	0,03176	5	Álcool	0,01712
6	Minerais Metálicos	0,02189	6	Minerais Metálicos	0,02173	6	Elettricidade	0,03168	6	Minerais não-metálicos	0,01553
7	Transporte	0,01665	7	Transporte	0,01901	7	Papel e Celulose	0,02853	7	Papel e Celulose	0,01184
8	Química	0,01378	8	Cimentos	0,01799	8	Álcool	0,02631	8	Petróleo e gás natural	0,01136
9	Óleo Diesel	0,01332	9	Metalurgia	0,01497	9	Metalurgia	0,01789	9	Metalurgia	0,00782
10	Óleo Combustível	0,01176	10	GLP	0,01345	10	Química	0,01645	10	Cimentos	0,00754
11	Papel e Celulose	0,00872	11	Química	0,01267	11	Petróleo e gás natural	0,01466	11	Transporte	0,00594
12	Outras Indústrias	0,00848	12	Elettricidade	0,01064	12	Alimentos e Bebidas	0,01314	12	Química	0,00527
13	GLP	0,00782	13	Papel e celulose	0,01033	13	Outras Indústrias	0,01264	13	Outras Indústrias	0,00430
14	Minerais não-metálicos	0,00600	14	Outras indústrias	0,00865	14	Transporte	0,01073	14	Alimentos e Bebidas	0,00402
15	Têxtil e Vestuário	0,00561	15	Álcool	0,00767	15	Têxtil e Vestuário	0,00927	15	Têxtil e Vestuário	0,00308
16	Alimentos e Bebidas	0,00502	16	Têxtil e Vestuário	0,00632	16	Agropecuária	0,00525	16	Gasolina	0,00216
17	Carvão Mineral	0,00498	17	Alimentos e bebidas	0,00535	17	Comércio e serviço	0,00381	17	Agropecuária	0,00199
18	Álcool	0,00414	18	Minerais não-metálicos	0,00524	18	Público	0,00288	18	Outros Refinos	0,00116
19	Elettricidade	0,00406	19	Carvão Mineral	0,00470	19	Gasolina	0,00246	19	Comércio e serviço	0,00114
20	Agropecuária	0,00333	20	Agropecuária	0,00364	20	Outros Refinos	0,00205	20	Público	0,00087
21	Comércio e serviço	0,00159	21	Comércio e serviço	0,00165	21	GLP	0,00067	21	GLP	0,00073
22	Público	0,00101	22	Público	0,00111	22	Óleo Diesel	0,00053	22	Óleo Diesel	0,00069

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis elo Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

Nota: GLP - Gás Liquefeito de Petróleo.

Por exemplo, a intensidade total de CO₂ (Tabela 15) do gás natural como insumo do próprio setor gás natural aumentou de 0,741 para 0,752, enquanto que o coeficiente total do óleo combustível para o próprio setor de óleo combustível também aumenta de 0,01176 para 0,03201. Já as intensidades diretas de CO₂ (Tabela 14) do setor petróleo e gás natural por gás natural aumentam de 0,0154 para 0,01554, enquanto que os coeficientes diretos de óleo combustível por óleo combustível permanece em zero, confirmando que apesar do coeficiente de conversão do gás natural ser menor que o coeficiente do óleo combustível, o aumento do consumo do gás e a diminuição do consumo do óleo combustível elevou o energético gás natural no *rank* entre os mais poluentes.

Em relação à variação da intensidade direta de CO₂ (Gráfico 7), os setores que apresentaram um aumento na intensidade de CO₂ pelo uso do gás natural foram os setores energéticos, petróleo/gás natural, gás liquefeito de petróleo, gasolina, óleo combustível, óleo diesel, álcool, outros refinos e eletricidade. Enquanto que a intensidade direta de CO₂ para óleo combustível aumentou para os setores: petróleo e gás natural e gasolina.

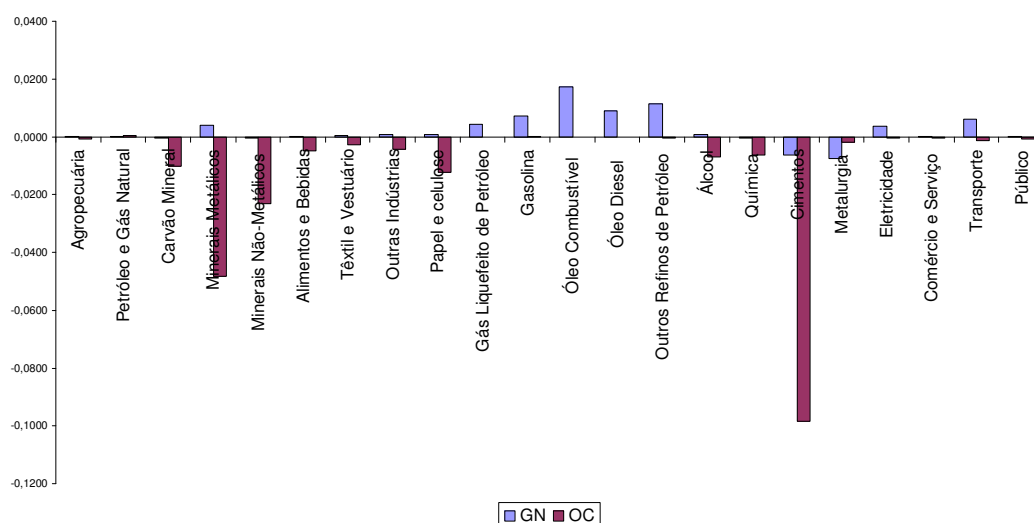


GRÁFICO 7: Variação da intensidade direta de CO₂ para os setores Gás Natural e Óleo Combustível.

Fonte: Elaboração própria.

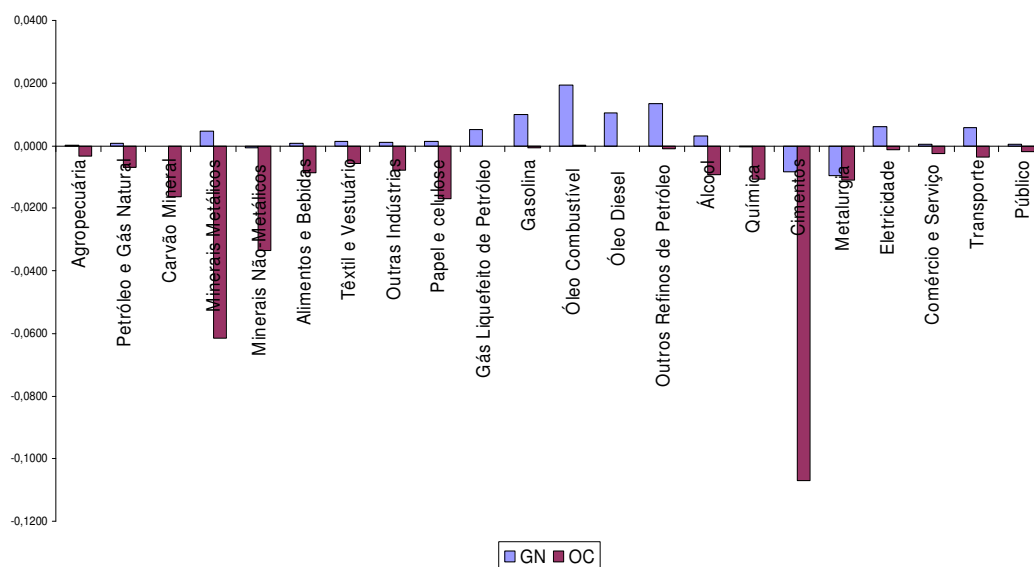


GRÁFICO 8: Variação da intensidade total de CO₂ para os setores Gás Natural e Óleo Combustível.

Fonte: Elaboração própria.

Para a variação de intensidade total de CO₂, todos os setores de energia tiveram um aumento na intensidade de CO₂ considerando o consumo de gás natural, com destaque para óleo combustível além do setor de transporte e minerais não metálicos. Já para a fonte óleo combustível houve um aumento de intensidade total de CO₂ apenas para o próprio setor óleo combustível. Os setores extrativos e de metalurgia apresentaram a maior queda tanto na intensidade total quanto direta considerando o consumo de óleo combustível.

A variação no consumo e consequentemente na emissão de CO₂, para qualquer fonte energética pode ser resultado da variação na demanda final ou consequência de uma mudança tecnológica. Com base nessa constatação, a próxima seção apresenta os resultados da análise de decomposição estrutural – SDA.

5.3 RESULTADOS DA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL - SDA

Essa seção apresenta os resultados da análise de decomposição estrutural usando como base a matriz insumo produto. A Tabela 16 apresenta a decomposição do produto considerando a contribuição da tecnologia e da demanda final.

TABELA 16: Decomposição da Variação do Produto

	ΔX	EFEITO TECNOLOGIA		EFEITO DEMANDA FINAL	
	R\$	R\$	%	R\$	%
Agropecuária	80.597,90	10.188,88	13%	70.409,03	87%
Carvão Mineral	392,87	-4,96	-1%	397,83	101%
Minerais Metálicos	12.359,62	1.055,12	9%	11.304,49	91%
Minerais Não-Metálicos	21.386,02	5.471,30	26%	15.914,72	74%
Alimentos e Bebidas	99.849,77	2.689,87	3%	97.159,91	97%
Têxtil e Vestuário	26.790,16	-1.185,95	-4%	27.976,11	104%
Outras Indústrias	148.178,28	4.447,23	3%	143.731,05	97%
Papel e celulose	28.436,46	1.205,84	4%	27.230,62	96%
Química	89.571,94	9.627,98	11%	79.943,96	89%
Cimentos	3.297,33	547,54	17%	2.749,78	83%
Metalurgia	60.482,32	17.948,74	30%	42.533,58	70%
Comércio e Serviço	475.751,14	-15.070,44	-3%	490.821,57	103%
Transporte	56.017,04	-3.201,47	-6%	59.218,51	106%
Público	120.751,80	0,00	0%	120.751,80	100%
Petróleo e Gás Natural	20.144,31	4.619,68	23%	15.524,63	77%
Gás Liquefeito de Petróleo	1.322,75	-32,72	-2%	1.355,47	102%
Gasolina	13.190,28	-1.488,49	-11%	14.678,77	111%
Óleo Combustível	4.221,85	743,50	18%	3.478,35	82%
Óleo Diesel	21.053,12	9.090,34	43%	11.962,78	57%
Outros Refinos de Petróleo	13.755,66	4.474,05	33%	9.281,61	67%
Álcool	3.029,30	-1.355,41	-45%	4.384,71	145%
Eletricidade	37.531,62	-3.893,65	-10%	41.425,27	110%
Total	1.338.111,54	45.876,98		1.292.234,55	

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE.

O carvão mineral teve um crescimento pequeno do valor do produto, consequência de uma queda na demanda por este produto. Todos os demais setores apresentaram um aumento no produto de um período para o outro, porém os mais significativos foram: o comércio e serviço, outras indústrias, alimentos e bebidas, setor público e indústrias química. No setor outras indústrias, destacam-se máquina e equipamentos inclusive manutenção e reparo; automóveis, caminhonetes e utilitários. Quanto à variação da demanda final, todos os setores apresentaram resultados positivos, ou seja, o aumento da demanda final contribuiu para o aumento do produto.

No entanto, alguns setores apresentaram aumento na demanda e diminuição de tecnologia, foram eles: carvão mineral, têxtil e vestuário e comércio e serviço. Entre os setores de energia, gás liquefeito de petróleo, gasolina, álcool e eletricidade apresentaram aumento na demanda e queda de tecnologia. Porém para analisar melhor, é preciso decompor os efeitos demanda final e efeitos tecnologia.

A variação na demanda final pode ser decomposta de varias formas, como vimos no Capítulo 4. Porém, o presente trabalho divide em dois efeitos. O efeito nível que se refere ao montante total de todos os gastos com demanda final enquanto o efeito mix representa o mix de produtos dentro de uma categoria especifica.

TABELA 17: Decomposição da demanda final

SETORES	Contribuição da DEMANDA FINAL	Efeito Nível		Efeito Mix	
	R\$	R\$	Contribuição no ΔX	R\$	Contribuição no ΔX
Agropecuária	70.409,03	59.911,16	74%	10.497,87	15%
Carvão Mineral	397,83	288,57	73%	109,25	27%
Minerais Metálicos	11.304,49	6.968,12	56%	4.336,37	38%
Minerais Não-Metálicos	15.914,72	14.748,64	69%	1.166,08	7%
Alimentos e Bebidas	97.159,91	88.780,24	89%	8.379,67	9%
Têxtil e Vestuário	27.976,11	34.236,79	128%	-6.260,68	-22%
Outras Indústrias	143.731,05	125.150,34	84%	18.580,71	13%
Papel e celulose	27.230,62	27.199,41	96%	31,21	0%
Química	79.943,96	70.722,49	79%	9.221,47	12%
Cimentos	2.749,78	2.787,95	85%	-38,16	-1%
Metalurgia	42.533,58	29.022,39	48%	13.511,19	32%
Comércio e Serviço	490.821,57	524.569,18	110%	-33.747,61	-7%
Transporte	59.218,51	58.554,02	105%	664,49	1%
Público	120.751,80	133.060,25	110%	-12.308,45	-10%
Petróleo e Gás Natural	15.524,63	14.296,66	71%	1.227,96	8%
Gás Liquefeito de Petróleo	1.355,47	1.456,01	110%	-100,54	-7%
Gasolina	14.678,77	15.042,57	114%	-363,80	-2%
Óleo Combustível	3.478,35	2.680,32	63%	798,03	23%
Óleo Diesel	11.962,78	10.618,41	50%	1.344,37	11%
Outros Refinos de Petróleo	9.281,61	7.595,57	55%	1.686,04	18%
Álcool	4.384,71	4.502,80	149%	-118,09	-3%
Eletricidade	41.425,27	41.474,95		-49,68	

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE.

Como foi dito, todos os setores tiveram uma participação positiva da demanda final sobre o produto, influenciado, principalmente, pelo efeito nível, ou seja, um aumento no montante

total dos gastos. O setor agropecuário, por exemplo, apresenta que o aumento na demanda final é responsável por 87% da variação do produto deste setor (ver Tabela 16), destes, 74% (Tabela 17) é consequência do efeito nível.

Alguns setores apresentaram uma contribuição negativa no efeito mix, o que quer dizer que a variação no mix de insumos levou a uma queda no produto. Entre eles destaca-se o setor têxtil e vestuário (-22%). Por variação no mix entende-se, o mix de insumo dentro de cada categoria particular demanda final. Por exemplo, o valor total das despesas de consumo com têxtil e vestuário vai para outros setores. Além de têxtil e vestuário, outros setores apresentaram contribuição negativa para o efeito mix. Foram eles, cimento, comércio e serviço, público, gás liquefeito de petróleo, gasolina e álcool.

Quanto à decomposição da variação da inversa de Leontief, como ficou constatado na metodologia, o que influencia é a variação tecnológica, ou seja, a mudança no delta A, e ainda, é possível decompor a tecnologia de várias formas. Esse trabalho apresentará o resultado de duas formas diferentes. A primeira decompõe a tecnologia em três efeitos, o efeito substituição, o efeito intensidade, e o efeito célula ou termo de erro (ver Tabela 18). A segunda decompõe a tecnologia considerando a contribuição de cada setor.

O efeito substituição entre os insumos intermediários representa uma variação uniforme na linha. Esse efeito é representado pelo vetor r_i . O efeito intensidade representa uma variação uniforme na coluna, ou seja, representa a mudança na produtividade representada por s_i . E por fim, o efeito célula ou termo de erro, representa a variação gerada por outros motivos que não estão representados nesse trabalho, por isso a denominação termo de erro.

A maior parte dos setores apresenta uma maior contribuição do efeito intensidade (Tabela 18), como por exemplo, 13% da variação do produto do setor agropecuário são influenciados pelo efeito intensidade. Os setores que tem destaque quanto ao efeito intensidade são: carvão mineral, petróleo e metalurgia.

TABELA 18: Decomposição do efeito tecnológico em três efeitos

SETORES	EFEITO TECNOLÓGICO		Efeito Intensidade		Efeito Substituição		Termo Erro	
	R\$	ΔX	R\$	ΔX	R\$	ΔX	R\$	ΔX
Agropecuária	10.188,88	13%	10.475,95	13%	-287,10	0%	0,03	0%
Carvão Mineral	-4,96	-1%	223,65	57%	-228,62	-58%	0,01	0%
Minerais Metálicos	1.055,12	9%	3.884,99	31%	-2.829,86	-23%	-0,02	0%
Minerais Não-Metálicos	5.471,29	26%	5.231,84	24%	239,47	1%	-0,01	0%
Alimentos e Bebidas	2.689,87	3%	717,71	1%	1.972,14	2%	0,02	0%
Têxtil e Vestuário	-1.185,94	-4%	-5.613,88	-21%	4.427,91	17%	0,03	0%
Outras Indústrias	4.447,22	3%	6.821,84	5%	-2.374,59	-2%	-0,04	0%
Papel e celulose	1.205,83	4%	-1.753,41	-6%	2.959,26	10%	-0,02	0%
Química	9.627,95	11%	13.771,09	15%	-4.143,03	-5%	-0,11	0%
Cimentos	547,54	17%	295,43	9%	252,12	8%	0,00	0%
Metalurgia	17.948,74	30%	23.285,06	38%	-5.336,28	-9%	-0,04	0%
Comércio e Serviço	-15.070,43	-3%	-37.558,38	-8%	22.487,89	5%	0,06	0%
Transporte	-3.201,46	-6%	-2.514,33	-4%	-687,17	-1%	0,04	0%
Público	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%	0,00	0%
Petróleo e Gás Natural	4.619,72	23%	9.188,92	46%	-4.569,28	-23%	0,08	0%
Gás Liquefeito de Petróleo	-32,72	-2%	-18,29	-1%	-14,43	-1%	0,00	0%
Gasolina	-1.488,49	-11%	-170,88	-1%	-1.317,64	-10%	0,03	0%
Óleo Combustível	743,51	18%	1.148,27	27%	-404,78	-10%	0,02	0%
Óleo Diesel	9.090,33	43%	8.491,42	40%	598,94	3%	-0,03	0%
Outros Refinos de Petróleo	4.474,05	33%	5.524,50	40%	-1.050,44	-8%	-0,01	0%
Álcool	-1.355,41	-45%	-619,14	-20%	-736,27	-24%	0,00	0%
Eletricidade	-3.893,64	-10%	-4.513,94	-12%	620,29	2%	0,01	0%

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE.

O carvão mineral apresenta um aumento no efeito intensidade de 57% em relação ao produto, enquanto o efeito tecnológico apresenta uma queda de 1%. Isso quer dizer que se não fosse a contribuição do efeito intensidade o efeito tecnológico teria um resultado ainda pior para o aumento do produto.

Os setores, alimentos e bebidas; têxtil e vestuário; papel e celulose; comércio e serviço e álcool, apresentam um efeito substituição maior que o efeito intensidade. O termo de erro é menor que 1% para todos os setores, podendo ser considerados irrelevantes sobre o efeito tecnológico total.

Entre os setores energéticos, petróleo e gás natural, óleo combustível, óleo diesel e eletricidade apresentam efeito intensidade mais expressivo que o efeito substituição. Já gasolina e álcool apresentam efeito substituição mais significativo.

A segunda forma de avaliar as mudanças tecnológicas é observando a contribuição de cada setor, conforme consta na Tabela 19 que apresenta as mudanças tecnológicas para cada setor. Por exemplo, o setor agropecuário apresentou uma variação no produto de R\$ 10.188,88, destes R\$195,96 é consequência da variação tecnológico do setor de transporte, enquanto a variação tecnológica do próprio setor agropecuário contribuiu negativamente (R\$ - 393,76) para a variação do produto no setor.

A variação tecnológica do setor agropecuário foi influenciada fortemente pelo setor alimentos e bebidas, enquanto que a variação tecnológica do setor agropecuário afetou negativamente a evolução tecnológica dos alimentos e bebidas. Sendo este último influenciado positivamente pela evolução tecnológica do setor comércio e serviços.

O setor de transporte merece destaque por influenciar positivamente em todos os setores energéticos e os não energéticos. Ele por sua vez, sofre influencia positiva do setor comércio e serviço, e influencia negativa do setor metalurgia.

Outro setor que influencia positivamente para todos os demais setores é eletricidade. Porém esse mesmo setor apresentou um efeito tecnológico (total) negativo, influenciado principalmente por metalurgia e comércio e serviço.

Entre os demais setores energéticos, desta-se o aumento da tecnologia do setor de óleo diesel, influenciado diretamente pelo acréscimo tecnológico do setor de transporte. É importante destacar o feito positivo que a variação tecnológica do setor público exerceu sobre o setor de petróleo e gás natural cerca de R\$ 3.475,78 de um total de R\$ 4.619,72, o que deixa claro a interferência do governo no desenvolvimento do setor.

Entre os setores energéticos que apresentaram queda do produto consequência de uma mudança tecnológica, destacam-se: eletricidade, gasolina e álcool. O Setor de eletricidade é influenciado principalmente pela variação tecnológica do setor metalurgia além do setor comércio e serviço, como já foram dito. Enquanto que os setores gasolina e álcool são influenciados principalmente por outros refinamentos de petróleo apesar da contribuição positiva da variação tecnológica

TABELA 19: decomposição do efeito tecnológico dado à contribuição de cada setor.

	Efeito Tecnológico	Agropecuária	Petróleo e Gás Natural	Carvão Mineral	Minerais metálicos	Não-Metálicos	Alimentos Bebidas	Têxtil e Vestuário	Outras Indústrias	Papel Celulose	GLP	Gasolina
Agropecuária	10.188,88	-393,76	-23,87	-0,65	-31,37	-45,66	7.244,99	582,69	114,14	242,62	-9,77	-112,36
Carvão Mineral	-4,96	-0,62	-0,53	0,04	-37,52	-1,38	1,18	1,53	50,41	8,53	0,07	0,71
Minerais Metálicos	1.055,12	-5,36	-4,94	3,57	-5,18	93,03	17,59	14,97	931,72	15,52	1,29	14,65
Minerais Não-Metálicos	5.471,29	-6,68	-30,15	1,37	-61,05	-32,61	179,48	87,65	478,59	43,27	2,87	28,53
Alimentos e Bebidas	2.689,87	-977,14	-35,84	-0,77	-41,73	-51,33	454,29	443,71	-82,80	17,86	-0,33	-2,14
Têxtil e Vestuário	-1.185,94	-90,46	-14,61	-4,55	-38,43	-142,69	-60,49	19,45	-288,56	-32,73	0,65	8,18
Outras Indústrias	4.447,22	-192,89	-427,09	-4,25	-277,56	-275,74	207,49	383,75	649,56	118,61	41,67	447,71
Papel e celulose	1.205,83	-79,53	-45,83	-1,38	-109,90	-99,20	-86,26	172,24	-200,97	2,17	2,30	28,01
Química	9.627,95	-810,84	-133,41	-3,57	-168,94	-278,27	1.566,83	1.354,40	1.343,17	628,52	16,08	147,95
Cimentos	547,54	-7,12	-15,04	-0,34	-8,00	-133,26	-0,62	8,11	1,53	-0,16	1,21	13,09
Metalurgia	17.948,74	-47,58	-54,09	1,63	-23,35	61,89	137,89	122,16	13.268,75	216,87	7,96	79,03
Comércio e Serviço	-15.070,43	-1.730,50	-1.271,04	-19,04	-1.336,46	-1.263,17	-1.761,19	1.033,17	-4.033,11	-442,69	46,64	650,03
Transporte	-3.201,46	-656,72	-611,51	-10,82	-489,18	-408,23	-452,21	335,72	-442,74	-39,68	25,53	341,01
Público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Petróleo e Gás Natural	4.619,72	75,52	-18,83	1,26	-50,85	-14,73	169,96	176,44	365,82	27,14	245,77	3.475,78
Gás Liquefeito de Petróleo	-32,72	-10,33	-0,30	-0,11	-0,52	-36,84	-10,05	1,03	1,60	0,24	0,01	0,15
Gasolina	-1.488,49	-22,07	-17,62	-0,10	-28,33	-30,52	24,46	76,11	21,84	-10,38	-4,34	21,90
Óleo Combustível	743,51	0,90	-4,67	0,46	-41,68	11,48	112,60	107,93	171,64	4,60	0,44	3,95
Óleo Diesel	9.090,33	374,64	2,40	4,48	-48,05	18,01	273,36	218,14	491,60	8,52	10,23	89,80
Outros Refinos de Petróleo	4.474,05	-37,93	-20,91	-0,07	-21,17	40,26	175,87	138,10	575,37	102,87	3,90	25,97
Álcool	-1.355,41	-16,79	-4,29	-0,22	-9,85	-12,31	27,56	32,81	46,01	6,41	-17,32	-199,57
Eletricidade	-3.893,64	-248,62	-294,55	-6,52	-294,16	-482,72	-231,90	226,90	36,18	-94,51	10,82	150,76

Continua.

TABELA 19 – Continuação

	Efeito Tecnológico	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Química	Cimentos	Metalurgia	Elettricidade	Comércio e Serviço	Transporte	Público
Agropecuária	10.188,88	-98,88	-453,20	-290,78	1.742,79	-246,82	-0,41	-120,77	37,08	1.664,27	195,93	192,69
Carvão Mineral	-4,96	-0,10	-0,66	-0,49	0,36	3,74	6,41	-71,73	0,76	32,07	1,13	1,11
Minerais Metálicos	1.055,12	-1,11	-9,06	-5,44	4,30	99,81	7,01	-517,20	11,07	358,54	17,93	12,43
Minerais Não-Metálicos	5.471,29	-7,29	-42,44	-32,19	42,58	121,22	14,15	-417,97	19,24	4.926,27	40,30	116,15
Alimentos e Bebidas	2.689,87	-22,11	-107,05	-76,20	261,84	-243,33	-3,40	-139,75	39,65	2.838,53	57,10	360,80
Têxtil e Vestuário	-1.185,94	-2,95	-16,44	-13,96	11,54	-186,71	-5,68	-62,72	5,20	-214,56	-46,89	-8,55
Outras Indústrias	4.447,22	-63,31	-422,37	-255,57	171,93	-295,95	-1,37	-1.812,91	365,30	4.588,82	1.024,32	477,07
Papel e celulose	1.205,83	-8,22	-47,01	-40,79	29,25	-393,21	-13,72	-221,46	32,13	2.050,44	64,82	171,96
Química	9.627,95	-43,69	-246,75	-207,98	366,69	-187,19	3,79	-1.574,54	350,42	5.600,96	646,12	1.258,24
Cimentos	547,54	-1,82	-12,19	-8,73	2,96	-9,35	0,01	-32,75	2,74	733,00	8,36	5,93
Metalurgia	17.948,74	-11,62	-76,51	-46,18	32,13	305,87	64,71	-320,17	152,99	3.815,19	169,92	91,26
Comércio e Serviço	-15.070,43	-186,48	-1.074,05	-737,06	339,07	-3.769,48	-135,73	-4.026,09	228,07	3.794,62	217,82	406,19
Transporte	-3.201,46	-73,57	-445,39	-277,55	132,05	-849,90	-62,73	-1.651,30	106,93	1.799,24	338,09	191,48
Público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Petróleo e Gás Natural	4.619,72	-299,38	-2.347,22	-1.257,33	54,29	676,54	20,48	-267,91	414,54	1.013,38	2.035,49	123,51
Gás Liquefeito de Petróleo	-32,72	-0,11	-0,58	-0,57	1,06	-0,67	0,05	-2,65	0,16	24,47	0,35	0,91
Gasolina	-1.488,49	-303,51	-1.485,07	-905,85	26,35	157,67	6,03	-154,82	58,55	383,06	668,15	30,00
Óleo Combustível	743,51	-1,98	-10,57	-7,26	27,18	66,57	37,00	-107,92	106,47	163,53	68,38	34,45
Óleo Diesel	9.090,33	-15,98	-100,74	-60,49	80,06	-39,80	3,87	-266,46	399,69	1.866,02	5.546,34	234,71
Outros Refinos de Petróleo	4.474,05	-4,88	-28,29	-21,29	31,77	2.152,83	16,58	-173,10	27,93	820,13	563,39	106,72
Álcool	-1.355,41	-151,16	-685,89	-431,85	10,87	-257,02	2,72	-48,66	26,95	62,43	275,50	-11,72
Elettricidade	-3.893,64	-41,39	-240,02	-159,01	61,75	-883,62	-48,92	-2.733,20	54,51	1.067,78	167,73	89,06

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE

5.4 RESULTADOS DA SDA PARA CO₂

A presente seção apresenta os resultados da Análise de Decomposição Estrutural considerando a emissão de CO₂. Na Tabela 20 constam as variáveis utilizadas no trabalho. Através dela é possível notar que, em termos absolutos, o setor transporte é o mais poluente seguido por óleo diesel, metalurgia e alimentos e bebidas. A menos poluente é o setor eletricidade¹².

Em termos relativos, o setor mais poluente é o carvão mineral, para cada 1R\$ produzido nesse setor, eram emitidos 13,53 Gg/CO₂ no ano de 2000 e de 8,88 Gg/CO₂ em 2005. Em seguida aparece gás liquefeito de petróleo e óleo combustível. No entanto, é importante associar a emissão de CO₂ com a variação do produto. Os setores relativamente mais poluentes como carvão mineral e óleo combustível apresentam um crescimento deduzido no seu valor do produto entre os anos de 2000 e 2005.

Em relação à taxa de emissão por atividade é possível verificar na Tabela 20 que todos os setores apresentaram uma queda de 2000 para 2005, com destaque para carvão mineral, óleo diesel que caiu de 8,26 Gg/CO₂ para 2,66 Gg/CO₂ e óleo diesel que caiu de 6,82 Gg/CO₂ para 2,85 Gg/CO₂. Esse é um claro sinal de melhor aproveitamento das fontes de energia e uma conscientização de que é preciso poluir menos.

Ainda comparando variação no produto com variação das emissões, é importante observar que alguns setores tiveram uma diminuição nas emissões, porém um acréscimo significativo na produção. São eles: outras indústrias que diminuiu a emissão em 365 Gg/ano, no entanto teve um acréscimo no produto de cerca de R\$148 milhões. Ainda desta-se comércio e serviço como uma queda nas emissões de cerca de 225 Gg/ano com uma variação positiva no produto de cerca de R\$ 476 milhões, e ainda o setor público com uma queda de 380Gg/ano para um aumento no produto de cerca de R\$120 milhões.

¹² É importante constatar que o setor de eletricidade aparece com emissão zero porque essa estimativa é feita com base na emissão gerada durante o uso do combustível, e não considera o dióxido de carbono emitido no processo produtivo com um todo.

TABELA 20: Dados de emissão de CO₂ e produção por atividade

	Emissão 2000	Emissão 2005	Produção por atividade 2000 (R\$ 1.000)	Produção por atividade 2005 (R\$ 1.000)	Taxa de emissão por atividade 2000	Taxa de emissão por atividade 2005
Agropecuária	19.533,32	22.102,88	87.618,00	168.215,90	0,22	0,13
Carvão Mineral	5.601,21	7.166,04	414,00	806,87	13,53	8,88
Minerais Metálicos	6.461,88	8.105,21	9.038,00	21.397,62	0,71	0,38
Minerais Não-Metálicos	9.491,71	10.219,94	20.922,00	42.308,02	0,45	0,24
Alimentos e Bebidas	35.895,94	51.426,01	137.204,00	237.053,77	0,26	0,22
Têxtil e Vestuário	1.554,97	1.495,56	57.378,00	84.168,16	0,03	0,02
Outras Indústrias	9.194,45	8.829,52	190.496,00	338.674,28	0,05	0,03
Papel e celulose	17.000,47	21.048,43	42.820,00	71.256,46	0,40	0,30
Química	14.549,78	14.982,22	105.357,00	194.928,94	0,14	0,08
Cimentos	11.721,43	10.156,76	4.239,00	7.536,33	2,77	1,35
Metalurgia	58.933,06	67.718,06	34.458,00	94.940,32	1,71	0,71
Comércio e Serviço	2.648,96	2.424,70	853.932,00	1.329.683,14	0,00	0,00
Transporte	125.584,84	138.849,98	94.060,00	150.077,04	1,34	0,93
Público	2.101,48	1.723,06	216.739,00	337.490,80	0,01	0,01
Petróleo e Gás Natural	14.966,23	29.620,52	20.457,00	40.601,31	0,73	0,73
Gás Liquefeito de Petróleo	20.482,78	18.597,67	2.370,00	3.692,75	8,64	5,04
Gasolina	28.048,98	28.722,91	24.603,00	37.793,28	1,14	0,76
Óleo Combustível	30.356,88	20.973,58	3.677,00	7.898,85	8,26	2,66
Óleo Diesel	88.251,37	96.837,45	12.939,00	33.992,12	6,82	2,85
Outros Refinos de Petróleo	27.283,54	32.005,20	9.784,00	23.539,66	2,79	1,36
Álcool	14.022,04	16.775,92	7.700,00	10.729,30	1,82	1,56
Eletricidade	0,00	0,00	67.366,00	104.897,62	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE e do Balanço de Emissões, energia equivalente e final.

Nota: Emissões em Gg/ano (gigagrama de CO₂). Valor da Produção por Atividade em milhões/ano de R\$.

Os dados de emissão de CO₂ estimados pelo balanço de emissões corroborando a hipótese de que houve substituição de óleo combustível por gás natural apresentada anteriormente, uma vez que, as emissões de CO₂ geradas pelo setor petróleo e gás natural cresceram de 14.966,23 g/ano para 29.620,52 enquanto que as emissões geradas pelo setor óleo combustível caíram de 30.356,88Gg/ano para 20.973,58 Gg/ano entre 2000 e 2005.

A Tabela 21 apresenta os efeitos totais de uma variação da emissão de CO₂, enquanto nas Tabelas 22 e 23 consta à decomposição dos efeitos da demanda final e a decomposição dos efeitos tecnológicos respectivamente.

TABELA 21: Decomposição dos efeitos totais em Gg/ano de CO₂.

	ΔCO_2	EFEITO INTENSIDADE DE EMISSÃO	EFEITO TECNOLOGICO	EFEITO DEMANDA FINAL
Agropecuária	2.569,56	-11.709,69	1.917,64	12.361,62
Carvão Mineral	1.564,82	-2.837,43	-87,15	4.489,40
Minerais Metálicos	1.643,32	-5.115,89	614,36	6.144,86
Minerais Não-Metálicos	728,23	-6.705,88	2.028,53	5.405,59
Alimentos e Bebidas	15.530,07	-8.362,12	654,87	23.237,32
Têxtil e Vestuário	-59,41	-660,44	-28,10	629,12
Outras Indústrias	-364,93	-5.872,47	172,90	5.334,64
Papel e celulose	4.047,96	-5.796,91	426,39	9.418,47
Química	432,44	-9.194,74	1.094,35	8.532,83
Cimentos	-1.564,68	-8.345,38	1.204,18	5.576,52
Metalurgia	8.785,00	-64.506,16	24.065,40	49.225,77
Comércio e Serviço	-224,26	-1.395,94	-40,23	1.211,91
Transporte	13.265,14	-50.043,87	-3.865,74	67.174,75
Público	-378,42	-1.272,07	0,00	893,65
Petróleo e Gás Natural	14.654,29	-62,54	3.375,92	11.340,91
Gás Liquefeito de Petróleo	-1.885,11	-10.931,94	-241,93	9.288,76
Gasolina	673,93	-11.857,26	-1.510,14	14.041,32
Óleo Combustível	-9.383,30	-32.415,94	4.509,45	18.523,19
Óleo Diesel	8.586,08	-93.199,35	48.212,95	53.572,49
Outros Refinos de Petróleo	4.721,66	-23.809,07	10.076,84	18.453,89
Álcool	2.753,87	-2.372,61	-2.344,91	7.471,40
Elettricidade	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE e do Balanço de Emissões, energia equivalente e final.

Na Tabela 21, a variação total das emissões de CO₂ está dividida entre efeito intensidade de emissão de CO₂, efeito demanda final e efeito tecnológico. O efeito intensidade mede as mudanças nas emissões por unidade produzida. Todos os setores apresentam um efeito intensidade negativa, ou seja, a emissão de CO₂ por unidade produzida diminuiu entre 2000 e 2005. Os setores que mais se destacaram foram: Transporte com uma queda de - 50.043,87Gg/ano, óleo diesel -93.199,35 Gg/ano e metalurgia com -64.506,16 Gg/ano.

Em relação à variação das emissões proveniente da variação da demanda final, todos os setores apresentaram um efeito positivo, ou seja, a variação na demanda contribui diretamente para o das emissões, com destaque para transporte, metalurgia e óleo diesel.

O efeito tecnologia apresenta dois grupos de setores, um deles apresenta resultados positivos, ou seja, o efeito tecnologia contribui para aumentar as emissões. Esses positivos são: agropecuária, minerais metálicos, e não metálicos, alimentos e bebidas, outras indústrias,

papel e celulose, química, cimento, metalurgia, petróleo e gás natural, óleo diesel, e óleo combustível e outros refinos e petróleo.

O segundo grupo apresenta um resultado negativo, ou seja, a variação tecnológica contribui para diminuir as emissões de CO₂. São eles: carvão mineral, têxtil e vestuário, comércio e serviço, transporte, gás liquefeito de petróleo, gasolina e álcool.

É interessante observar a combinação dos três efeitos para cada setor. O setor transporte, por exemplo, apresentou uma das maiores variações de CO₂, mais de 13mil Gg./ano de CO₂. Porém, o efeito intensidade e o tecnológico apresentam contribuições negativas, mas o efeito demanda foi tão significativo que superou os dois efeitos. Ou seja, pode-se dizer que o aumento da demanda por transporte é o grande responsável pelo aumento das emissões do setor. O mesmo ocorre com os setores carvão mineral, têxtil e vestuário e comércio e serviço.

Entre os setores energéticos, apenas gás liquefeito de petróleo e óleo combustível, apresentaram variações negativas na emissão de CO₂. Esses influenciados principalmente pelo efeito intensidade de emissão. Todos os demais energéticos apresentaram um aumento nas emissões, sendo o efeito demanda o principal responsável.

É importante destacar que o setor eletricidade não apresenta emissão de CO₂ porque esse trabalho considera a emissão gerada no ato do consumo, e não na produção. Como o consumo de eletricidade não envolve nenhuma combustão, ele aparece com emissão zero. Porém isso não quer dizer que no processo produtivo não há liberação de gases, apenas não estão computados nesse trabalho.

Assim como foi apresentado na variação no produto, será apresentada agora a decomposição dos efeitos demanda e tecnologia sobre a variação das emissões de CO₂. A Tabela 22 apresenta a decomposição do efeito demanda final de forma mais detalhada, subdividindo-a em efeito nível e efeito mix. Todas as atividades apresentaram uma maior contribuição do efeito nível sobre o efeito demanda final, isso quer dizer que grande parte do efeito que a demanda final exerce sobre a emissão total de CO₂ é consequência do aumento do montante total gasto com a demanda final. Novamente, o setor de transporte merece destaque, além de metalurgia e óleo diesel.

TABELA 22: Decomposição dos efeitos da demanda final em Gg/ano de CO₂

SETORES	EFEITO DEMANDA FINAL	Efeito Nível	Efeito Mix
Agropecuária	12.361,62	10.502,95	1.858,66
Carvão Mineral	4.489,40	3.234,60	1.254,80
Minerais Metálicos	6.144,86	3.768,06	2.376,80
Minerais Não-Metálicos	5.405,59	4.987,56	418,03
Alimentos e Bebidas	23.237,32	21.228,92	2.008,40
Têxtil e Vestuário	629,12	769,40	-140,27
Outras Indústrias	5.334,64	4.639,59	695,05
Papel e celulose	9.418,47	9.401,62	16,86
Química	8.532,83	7.530,18	1.002,65
Cimentos	5.576,52	5.639,66	-63,13
Metalurgia	49.225,77	33.042,69	16.183,07
Comércio e Serviço	1.211,91	1.294,16	-82,25
Transporte	67.174,75	66.327,46	847,29
Público	893,65	984,74	-91,09
Petróleo e Gás Natural	11.340,91	10.443,57	897,34
Gás Liquefeito de Petróleo	9.288,76	9.972,09	-683,33
Gasolina	14.041,32	14.356,75	-315,43
Óleo Combustível	18.523,19	14.122,81	4.400,39
Óleo Diesel	53.572,49	47.022,76	6.549,73
Outros Refinos de Petróleo	18.453,89	14.992,67	3.461,21
Álcool	7.471,40	7.661,20	-189,80
Elettricidade	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE e do Balanço de Emissões, energia equivalente e final.

Considerando a contribuição do efeito tecnológico (ver Tabela 23), da mesma forma que aconteceu na variação do produto, a variação na emissão é mais influenciada pelo efeito intensidade na maioria dos setores. O setor metalurgia, por exemplo, apresenta uma contribuição de 24.065,40 Gg/ano de CO₂ consequência do efeito tecnológico, destes 4.072,99 Gg/ano é consequência do efeito intensidade, -2.921,15 Gg/ano é consequência do efeito substituição, o que significa dizer que o efeito substituição nesse setor gerou uma queda nas emissões. Por fim, 22.913,55 Gg/ano é consequência de outros fatores não explicados nesse trabalho.

O setor transporte, apesar de ter apresentado um aumento nas emissões de CO₂ (ver Tabela 21) o efeito tecnológico contribuiu para diminuir as emissões em -3.865,74 Gg/ano. Porém, há uma parcela significativa (-1.993,12 Gg/ano) que não é explicado por esses fatores.

TABELA 23: Decomposição dos efeitos tecnológicos em Gg/ano de CO₂

	EFEITO TECNOLOGICO	Efeito Intensidade	Efeito Substituição	Termo De Erro
Agropecuária	1.917,64	2.169,64	-473,24	221,24
Carvão Mineral	-87,15	69,82	-131,07	-25,90
Minerais Metálicos	614,36	1.358,50	-1.578,95	834,81
Minerais Não-Metálicos	2.028,53	600,63	-610,72	2.038,62
Alimentos e Bebidas	654,87	227,85	-328,36	755,38
Têxtil e Vestuário	-28,10	-299,74	80,32	191,32
Outras Indústrias	172,90	1.309,60	-2.037,68	900,98
Papel e celulose	426,39	-98,26	-132,71	657,36
Química	1.094,35	2.217,17	-2.417,48	1.294,66
Cimentos	1.204,18	35,95	-57,44	1.225,67
Metalurgia	24.065,40	4.072,99	-2.921,15	22.913,55
Comércio e Serviço	-40,23	-2.615,71	-3.124,85	5.700,33
Transporte	-3.865,74	-204,70	-1.667,93	-1.993,12
Público	0,00	0,00	0,00	0,00
Petróleo e Gás Natural	1.762,98	2.844,85	-1.720,69	638,82
Gás Liquefeito de Petróleo	-12,74	-1,97	-8,68	-2,09
Gasolina	-582,60	130,59	-674,34	-38,84
Óleo Combustível	284,89	274,30	-250,19	260,77
Óleo Diesel	3.494,52	3.326,85	84,17	83,50
Outros Refinos de Petróleo	1.723,91	955,51	-318,12	1.086,52
Álcool	-526,26	-62,05	-307,70	-156,50
Eletricidade	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE e do Balanço de Emissões, energia equivalente e final.

Comparando a decomposição do efeito tecnológico que contribui na variação do produto com os resultados do efeito tecnológico que afeta a variação das emissões, é possível notar uma participação significativa do termo de erro para a variação das emissões. Ou seja, outros fatores, que não a intensidade ou a substituição, estão afetando a contribuição do efeito tecnológico para a variação das emissões.

Dessa forma, é preciso considerar a necessidade de novas decomposições, a fim de especificar melhor todos os efeitos que afetam cada setor. Além dessa sugestão, alguns setores merecem destaque, como o setor de transporte, metalurgia e outras indústrias, estes ficam como sugestão para trabalhos futuros. Ainda a título de sugestão, quando se trata de redução de energia é possível pesquisar os bio-combustíveis e ou combustíveis renováveis. Além de outras fontes como a nuclear, a eólica entre outras.

6 CONCLUSÕES

A aplicação do modelo insumo-produto híbrido construído com base nos dados da matriz insumo-produto brasileira e com os dados do consumo de energia é capaz de medir a intensidade energética de cada setor da economia. A adaptação desse modelo considerando a conversão de energia em produção de CO₂ é capaz de medir a intensidade de CO₂ de cada atividade econômica segundo a intensidade de emissão de CO₂.

O presente trabalho comparou o resultado do modelo para os anos de 2000 e 2005 e constatou que houve mudanças expressivas nas intensidades diretas, totais e indiretas de emissão de CO₂. Quanto à variação na intensidade total (ver Tabela 12), considerando o consumo de petróleo/gás natural, todos os setores apresentam um aumento na intensidade de CO₂ maior que 100%, exceto gasolina, 65%, e óleo combustível, 59%.

Quanto à intensidade de emissão de CO₂ constatou-se que apesar do gás natural ser menos poluente que o óleo combustível, o aumento de quase 100% no consumo de gás natural, e a diminuição de cerca de 50% do óleo combustível elevou a intensidade de carbono emitido pelo uso de gás natural. Dessa forma alguns setores merecem destaque. São eles: cimento, comércio e serviço e transporte que apresentam uma variação na intensidade total de CO₂ maior que 100% em praticamente todas as fontes energéticas, exceto eletricidade.

Segundo os resultados da análise de decomposição estrutural, boa parte da variação do produto é resultado de um aumento na demanda final, resultado influenciado fortemente pelo no montante dos gastos. Já a parte da variação do produto associada à mudança tecnológica, é influenciada principalmente pelo efeito intensidade. A variação nas emissões segue a mesma tendência da variação no produto, acrescentando o efeito intensidade de emissão além dos efeitos tecnológicos e de demanda final. O efeito intensidade de emissão de CO₂ representa as emissões de CO₂ por unidade produzida.

Entre os setores não energéticos, os setores: têxtil e vestuário, outras indústrias, cimento, comércio e serviço e público, apresentam ΔCO_2 negativo, ou seja, uma emissão de CO₂ menor em 2005. Os demais apresentam um aumento nas emissões, com destaque para o setor transporte e alimento e bebidas.

Os Setores energéticos, com exceção do setor álcool, apresentam aumento nas emissões de CO₂, porém, todos eles apresentam um efeito intensidade de CO₂ negativo, ou seja, a emissão por unidade produzida é menor. Além do efeito intensidade de emissão de CO₂, o efeito substituição (parte do efeito tecnológico) também apresenta valores negativos para todos os setores energéticos com exceção de óleo diesel (ver Tabela 23). Isso quer dizer que, as substituições entre as fontes de energia contribuíram para uma redução na emissão de CO₂.

Dessa forma, pode-se concluir que as mudanças nas fontes de energia sobre as emissões de CO₂ tiveram um impacto positivo para o meio ambiente, ou seja, ajudaram a diminuir a emissão de CO₂. Quanto ao papel das transformações tecnológicas, pode-se concluir que principalmente para os setores energéticos, também houve uma contribuição positiva quanto às emissões de CO₂, porém essa contribuição foi menor que a gerada pela variação na demanda final, que elevou a emissão de CO₂ anulando o efeito tecnológico, principalmente em setores como o de transportes, um grande emissor de CO₂ na atmosfera.

Apesar do setor de transporte ter contribuído para o aumento da emissão, 13.265,14 Gg/ano, o efeito tecnológico desse setor apresenta uma contribuição negativa, -3.865,74Gg/ano. Isso significa dizer que a emissão gerada pelo setor transporte poderia ter sido maior se não fosse à contribuição tecnológica. Outros setores seguem a mesma tendência, como carvão mineral, gás liquefeito de petróleo e gasolina.

A contribuição da tecnologia representa um caminho possível, que não seja a redução da produção, para a redução das emissões de CO₂, porém, é necessário avaliar outros efeitos que não são explicados nesse trabalho – o termo de erro – e verificar se esses efeitos não explicados combinados com uma nova transformação tecnológica seriam suficientes para anular a contribuição do efeito demanda final.

Esse trabalho mostrou-se uma ferramenta importante uma vez que fornece informações aos formuladores de políticas para que possam adotar a melhor estratégia econômica de controle das emissões. Porém quando se trata de políticas de controle é preciso considerar outros aspectos, como o uso de fontes renováveis, incorporar o comércio de carbono, além das formas de controle possível.

BIBLIOGRAFIA

ALCÁNTARA, V.; DUARTE, R. Comparison of energy intensities in European Union countries: Results of a structural decomposition analysis. **Energy Policy**, n.23, p.177-189, 2003.

ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. “Key” sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. **Energy Economics**, n.31, p.1673-1678, 2003.

BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balanco Energético Nacional 2008 – Ano Base 2007**. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. E MINISTÉRIO DE CIENCIA E TECNOLOGIA – MCT. **Balanco de Emissões, energia equivalente e final**. Rio de Janeiro, 2007.

CASLER, S.; D; BLAIR, P.D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. **Ecological Economics**, v.22, p.19-27, 1997.

CASLER, S.; ROSE A. Carbon Dioxide Emissions in the U.S. Economy. **Environmental and Resource Economics**, n.11, p.349-363, 1998.

CASTRO, N. J. *et al.* **Bioeletricidade: a indústria de álcool e açúcar e a bioeletricidade: possibilidades e limites**. Rio de Janeiro: Sinergia: Eletrobras: GESEL, UFRJ, 2008.

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.

COMMON, M. S.; SALMA, U. Accounting for Changes in Australian Carbon Dioxide Emissions. **Energy Economics**, v.14, n.3, p.217-225, 1992.

DIETZENBACHER E.; HOEKSTRA R. The RAS structural decomposition Approach. , in G. J. D. HEWINGS, M. SONIS e 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.

FEIJÓ, Carmem A. *Et al.* **Contabilidade Social**. 3ª. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

GOULD, B.W.; KULSHRESHTHA, S.N. An interindustry analysis of structural change and energy use linkages in the Saskatchewan economy. **Energy Economics**, n.8, p.186-196, 1986.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia (UFMG)**, v.16, p.49-99, 2006.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto**. 2005. 158f. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HOEKSTRA, R.; VAN DEN BERGH, J.C.J.M. Structural Decomposition Analysis of Physical Flows in the Economy. **Environmental and Resource Economics**, n.23, p.357-378, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Matriz Insumo-Produto Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

LABANDEIRA, X.; LABEAGE, J.M. Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. **Energy Policy**, v.30, p.597-611, 2002.

LINDEN J. A., van der; DIETZENBACHER E. The determinants of structural change in the European Union: A new application of RAS. **Working paper**, Groningen, *The Netherlands*: University of Groningen, 1995.

LEONTIEF, W., e FORD, D. Air Pollution and Economic Structure: Empirical Results of Input-Output Computations, In: Brody, A., Carter, A. **Input-Output-Techniques**, North Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1972.

LEONTIEF, W. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. **Review of Economics and Statistics**, v.52, n.3, p 262-271, 1970.

- LEONTIEF, W. **A economia do insumo-produto**. 2ed. São Paulo: Nova cultura, 1996.
- LIN, X.; POLENSKE, K.R. Input-Output Anatomy of China's Energy Use Changes in the 1980s. **Economic Systems Research**, n.7, p.67-84, 1995.
- MAS-COLELL, A., WHINSTON, M. D. e GREEN, J. R., **Microeconomic Theory**. Oxford, 1995.
- MAY, Peter H. *et al.* **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática** – Rio de Janeiro: Ed Elsevier, 2003.
- MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-Output Analysis: foundations and extensions**. 2009.
- MILLER, R.; BLAIR, P. **Input-Output Analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985, 464p.
- PEROBELLI, Fernando. S. Interações energéticas entre o Estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo-produto. **Economia Aplicada**, São Paulo, v.11, n.1, p.113-130, 2007.
- PINTO, H. Q. *et al.* **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2007.
- ROSE, A., e CHEN, C.Y. Sources of change in energy use in the U.S. economy, 1972-1982 – A structural decomposition analysis. **Resources and Energy**, n.13, p.1-21, 1991.
- ROSE, A., MIERNYK, W. Input-output analysis: the first fifty years. **Economic Systems Research**, n.1, p. 229-271, 1989.
- SANTN, Maria Fernanda C. L. **Os impactos da demanda por crédito de CO₂ sobre o mercado de certificações de reduções de emissões no Brasil, no âmbito do Protocolo de Quioto**. Tese de dissertação – Porto Alegre, 2007.
- SILVA, Marcos Novais. **Efeitos tecnológicos nas emissões de CO₂ Brasileira: uma abordagem de análise de decomposição estrutura (SDA)**. 2007
- STONE, R. **Input-Output and national accounts**. Paris, France: OECD, 1961.

WACHMANN, Ulrike. **Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996 – uma análise de decomposição estrutural.** Tese de doutorado – COPPE/UFRJ, 2005.

WIER, M. Sources of Changes in Emissions from Energy: A Structural Decomposition Analysis. **Economic Systems Research**, n.10 (2), p.99-112, 1998.

ANEXOS

ANEXO 1: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000
(efeitos totais)

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	0,004650	0,000411	0,006843	0,005947	0,065193	0,008268	0,002990	0,019232
Carvão Mineral	0,006958	0,000908	0,016962	0,035946	0,042013	0,018795	0,007412	0,031471
Minerais Metálicos	0,030573	0,010073	0,020311	0,138563	0,042492	0,069532	0,008875	0,329877
Minerais Não- Metálicos	0,008377	0,001776	0,013129	0,054203	0,029509	0,042547	0,005737	0,040265
Alimentos e Bebidas	0,007011	0,000970	0,012553	0,014870	0,046488	0,010094	0,005485	0,024997
Têxtil e Vestuário	0,007833	0,000876	0,008326	0,010494	0,017871	0,006879	0,003638	0,021577
Outras Indústrias	0,011842	0,003991	0,010121	0,014305	0,020788	0,012288	0,004423	0,032528
Papel e celulose	0,012185	0,001066	0,008773	0,032296	0,019447	0,008212	0,003834	0,037607
Química	0,019250	0,000669	0,010721	0,018616	0,022250	0,033009	0,004685	0,026396
Cimentos	0,033990	0,001043	0,023140	0,128522	0,049840	0,461913	0,010112	0,103938
Metalurgia	0,031983	0,004753	0,014901	0,020246	0,029982	0,025501	0,006511	0,088843
Comércio e Serviço	0,002226	0,000545	0,005170	0,004309	0,010540	0,005695	0,002259	0,010625
Transporte	0,023256	0,000441	0,156238	0,012151	0,285585	0,062964	0,068272	0,008969
Público	0,001408	0,001809	0,003167	0,003263	0,006978	0,002807	0,001384	0,015021
Petróleo e Gás Natural	1,035893	0,001764	0,055025	0,016588	0,113340	0,032926	0,024044	0,060200
Gás Liquefeito de Petróleo	0,010923	1,000069	0,002357	0,000761	0,004726	0,014382	0,001030	0,002249
Gasolina	0,078046	0,000264	1,010026	0,002781	0,019681	0,104410	0,004381	0,007836
Óleo Combustível	0,016423	0,000054	0,002085	1,000531	0,004090	0,021947	0,000911	0,001576
Óleo Diesel	0,018607	0,000061	0,002362	0,000602	1,004634	0,024866	0,001032	0,001786
Outros Refinos de Petróleo	0,034120	0,000169	0,004941	0,002322	0,009768	1,046158	0,002159	0,004966
Álcool	0,005777	0,000609	0,011602	0,029775	0,053123	0,010134	1,005070	0,017438
Eletricidade	0,005670	0,000437	0,006344	0,035865	0,020421	0,005726	0,002772	1,037606
Total	1,407003	1,032757	1,405098	1,582956	1,918759	2,029054	1,177016	1,925004

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

**ANEXO 2: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005
(efeitos totais)**

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	0,004654	0,000260	0,003653	0,002093	0,036655	0,004933	0,001865	0,012316
Carvão Mineral	0,006831	0,000306	0,008902	0,017301	0,022131	0,010391	0,004545	0,015234
Minerais Metálicos	0,037012	0,001259	0,009217	0,068802	0,020512	0,037334	0,004706	0,168670
Minerais Não- Metálicos	0,007291	0,001212	0,006623	0,016224	0,015533	0,025795	0,003382	0,020585
Alimentos e Bebidas	0,008118	0,000611	0,007453	0,005070	0,029249	0,006252	0,003805	0,017879
Têxtil e Vestuário	0,009889	0,000342	0,005791	0,003895	0,013308	0,004668	0,002957	0,016264
Outras Indústrias	0,013242	0,001398	0,005840	0,005350	0,012819	0,007820	0,002982	0,022145
Papel e celulose	0,014098	0,001158	0,005402	0,013076	0,013325	0,005351	0,002758	0,027724
Química	0,018744	0,000357	0,005891	0,006279	0,013463	0,018745	0,003008	0,017503
Cimentos	0,022054	0,003902	0,012761	0,007544	0,030698	0,269700	0,006516	0,054502
Metalurgia	0,018775	0,001407	0,005442	0,007667	0,011899	0,012407	0,002779	0,037378
Comércio e Serviço	0,002815	0,000444	0,003390	0,001618	0,007428	0,003861	0,001731	0,007785
Transporte	0,031295	0,000252	0,100428	0,007927	0,198633	0,039469	0,051277	0,007132
Público	0,001890	0,001391	0,002085	0,001199	0,004802	0,001892	0,001065	0,011031
Petróleo e Gás Natural	1,036999	0,000707	0,028549	0,008575	0,068054	0,018704	0,014577	0,049475
Gás Liquefeito de Petróleo	0,018167	1,000058	0,002506	0,000639	0,005636	0,020197	0,001280	0,003259
Gasolina	0,091826	0,000179	1,008412	0,001975	0,018190	0,106137	0,004295	0,008782
Óleo Combustível	0,043626	0,000064	0,003047	1,000684	0,006723	0,050483	0,001556	0,003536
Óleo Diesel	0,033146	0,000047	0,002238	0,000508	1,004954	0,038355	0,001143	0,002658
Outros Refinos de Petróleo	0,053075	0,000121	0,004514	0,001215	0,009899	1,061460	0,002305	0,005336
Álcool	0,010243	0,000618	0,009979	0,019116	0,047101	0,009574	1,005095	0,020683
Eletricidade	0,014038	0,000382	0,005896	0,034240	0,016786	0,006351	0,003011	1,042359
Total	1,497829	1,016475	1,248018	1,230996	1,607797	1,759880	1,126634	1,572235

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

ANEXO 3: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000
(efeitos diretos)

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	0,000004	0,000168	0,000000	0,001125	0,046421	0,000000	0,000000	0,011548
Carvão Mineral	0,000470	0,000149	0,000000	0,023963	0,009819	0,002057	0,000000	0,013534
Minerais Metálicos	0,018029	0,008538	0,000000	0,110485	0,001441	0,047524	0,000000	0,279824
Minerais Não-Metálicos	0,000850	0,000987	0,000000	0,037417	0,003626	0,011912	0,000000	0,019454
Alimentos e Bebidas	0,001745	0,000473	0,000000	0,007785	0,002917	0,000449	0,000000	0,010800
Têxtil e Vestuário	0,003185	0,000439	0,000000	0,004602	0,000111	0,000251	0,000000	0,010900
Outras Indústrias	0,004401	0,002772	0,000000	0,006654	0,000812	0,002288	0,000000	0,014560
Papel e celulose	0,006311	0,000598	0,000000	0,022532	0,000741	0,000140	0,000000	0,024242
Química	0,011445	0,000187	0,000000	0,010478	0,000977	0,019418	0,000000	0,013945
Cimentos	0,011055	0,000412	0,000000	0,114578	0,005386	0,414360	0,000000	0,086015
Metalurgia	0,021551	0,003153	0,000000	0,003608	0,000847	0,009650	0,000000	0,050261
Comércio e Serviço	0,000094	0,000269	0,000061	0,000457	0,000197	0,000070	0,000027	0,004911
Transporte	0,002917	0,000028	0,141049	0,006885	0,255121	0,033080	0,061634	0,001349
Público	0,000031	0,001623	0,000000	0,001030	0,000521	0,000015	0,000000	0,011050
Petróleo e Gás Natural	0,021522	0,000000	0,000000	0,002222	0,010711	0,000004	0,000000	0,036885
Gás Liquefeito de Petróleo	0,009701	0,000001	0,000000	0,000116	0,000225	0,012452	0,000000	0,000877
Gasolina	0,070986	0,000002	0,000000	0,000151	0,000223	0,094724	0,000000	0,001040
Óleo Combustível	0,014955	0,000000	0,000000	0,000000	0,000045	0,019943	0,000000	0,000178
Óleo Diesel	0,016944	0,000000	0,000000	0,000000	0,000051	0,022595	0,000000	0,000202
Outros Refinos de Petróleo	0,030684	0,000024	0,000000	0,000660	0,000133	0,041145	0,000000	0,001268
Álcool	0,000254	0,000058	0,000000	0,023356	0,002727	0,000124	0,000000	0,001970
Eletricidade	0,002353	0,000062	0,000000	0,031922	0,007932	0,000001	0,000000	0,030797
Total	0,249489	0,019941	0,141110	0,410026	0,350983	0,732203	0,061661	0,625610

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

ANEXO 4: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005
(efeitos diretos)

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	0,000020	0,000126	0,000000	0,000350	0,025926	0,000001	0,000000	0,007393
Carvão Mineral	0,000013	0,000000	0,000000	0,012493	0,003940	0,000686	0,000000	0,004601
Minerais Metálicos	0,023612	0,000903	0,000000	0,055714	0,000729	0,024369	0,000000	0,141864
Minerais Não-Metálicos	0,000376	0,000775	0,000000	0,011348	0,001487	0,009073	0,000000	0,009095
Alimentos e Bebidas	0,002119	0,000306	0,000000	0,002228	0,001723	0,000225	0,000000	0,007771
Têxtil e Vestuário	0,003894	0,000109	0,000000	0,001332	0,000021	0,000027	0,000000	0,007852
Outras Indústrias	0,005491	0,000882	0,000000	0,001876	0,000372	0,001429	0,000000	0,010042
Papel e celulose	0,007257	0,000795	0,000000	0,008818	0,000839	0,000032	0,000000	0,017809
Química	0,010920	0,000114	0,000000	0,003158	0,000765	0,010782	0,000000	0,009267
Cimentos	0,002138	0,003491	0,000000	0,002975	0,004407	0,239637	0,000000	0,043911
Metalurgia	0,011192	0,001043	0,000000	0,001500	0,000444	0,005524	0,000000	0,020650
Comércio e Serviço	0,000193	0,000241	0,000030	0,000099	0,000102	0,000019	0,000015	0,003530
Transporte	0,011372	0,000015	0,090604	0,005355	0,177292	0,016964	0,046261	0,000787
Público	0,000139	0,001256	0,000000	0,000173	0,000243	0,000000	0,000000	0,008014
Petróleo e Gás Natural	0,021706	0,000001	0,000000	0,002674	0,010393	0,001002	0,000000	0,034565
Gás Liquefeito de Petróleo	0,015639	0,000000	0,000000	0,000091	0,000413	0,017636	0,000000	0,001426
Gasolina	0,081138	0,000005	0,000000	0,000162	0,000356	0,095735	0,000000	0,001833
Óleo Combustível	0,038978	0,000000	0,000000	0,000000	0,000155	0,046042	0,000000	0,000659
Óleo Diesel	0,029645	0,000000	0,000000	0,000000	0,000118	0,035018	0,000000	0,000501
Outros Refinos de Petróleo	0,046699	0,000007	0,000000	0,000034	0,000196	0,055152	0,000000	0,000911
Álcool	0,001110	0,000156	0,000000	0,015354	0,001185	0,000121	0,000000	0,004715
Eletricidade	0,007631	0,000076	0,000000	0,031307	0,004284	0,000000	0,000000	0,034697
Total	0,321282	0,010304	0,090635	0,157039	0,235391	0,559475	0,046277	0,371893

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

ANEXO 5: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2000
(efeitos indiretos)

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Eletricidade
Agropecuária	0,004646	0,000243	0,006843	0,004822	0,018772	0,008268	0,002990	0,007684
Carvão Mineral	1,014372	0,001764	0,055025	0,014366	0,102630	0,032922	0,024044	0,023315
Minerais Metálicos	0,006488	0,000759	0,016962	0,011982	0,032194	0,016737	0,007412	0,017937
Minerais Não-Metálicos	0,012545	0,001536	0,020311	0,028078	0,041051	0,022008	0,008875	0,050054
Alimentos e Bebidas	0,007527	0,000789	0,013129	0,016786	0,025883	0,030635	0,005737	0,020811
Têxtil e Vestuário	0,005266	0,000497	0,012553	0,007085	0,043572	0,009644	0,005485	0,014197
Outras Indústrias	0,004648	0,000437	0,008326	0,005892	0,017760	0,006628	0,003638	0,010677
Papel e celulose	0,007441	0,001219	0,010121	0,007651	0,019975	0,010000	0,004423	0,017968
Química	0,005875	0,000468	0,008773	0,009764	0,018707	0,008072	0,003834	0,013365
Cimentos	0,001222	1,000068	0,002357	0,000646	0,004501	0,001931	0,001030	0,001372
Metalurgia	0,007060	0,000262	1,010026	0,002630	0,019458	0,009686	0,004381	0,006796
Comércio e Serviço	0,001467	0,000054	0,002085	1,000531	0,004045	0,002004	0,000911	0,001398
Transporte	0,001663	0,000061	0,002362	0,000602	1,004583	0,002271	0,001032	0,001584
Público	0,003436	0,000145	0,004941	0,001662	0,009635	1,005013	0,002159	0,003698
Petróleo e Gás Natural	0,005523	0,000551	0,011602	0,006419	0,050396	0,010011	1,005070	0,015468
Gás Liquefeito de Petróleo	0,007804	0,000481	0,010721	0,008138	0,021273	0,013591	0,004685	0,012452
Gasolina	0,022935	0,000631	0,023140	0,013944	0,044454	0,047553	0,010112	0,017923
Óleo Combustível	0,010432	0,001601	0,014901	0,016638	0,029135	0,015850	0,006511	0,038582
Óleo Diesel	0,003316	0,000375	0,006344	0,003942	0,012489	0,005725	0,002772	1,006809
Outros Refinos de Petróleo	0,002132	0,000277	0,005109	0,003852	0,010343	0,005625	0,002233	0,005714
Álcool	0,020340	0,000413	0,015189	0,005266	0,030463	0,029884	0,006637	0,007621
Eletricidade	0,001377	0,000185	0,003167	0,002233	0,006457	0,002792	0,001384	0,003971
Total	1,157514	1,012815	1,263988	1,172929	1,567776	1,296852	1,115355	1,299394

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).

ANEXO 6: Intensidade energética nos setores da atividade econômica para o Brasil em 2005
(efeitos indiretos)

	Petróleo e Gás Natural	Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina	Óleo Combustível	Óleo Diesel	Outros Refinos de Petróleo	Álcool	Elettricidade
Agropecuária	0,004634	0,000134	0,003653	0,001743	0,010729	0,004933	0,001865	0,004924
Carvão Mineral	1,015293	0,000706	0,028549	0,005902	0,057661	0,017702	0,014577	0,014910
Minerais Metálicos	0,006819	0,000305	0,008902	0,004808	0,018191	0,009705	0,004545	0,010634
Minerais Não-Metálicos	0,013400	0,000356	0,009217	0,013087	0,019782	0,012965	0,004706	0,026806
Alimentos e Bebidas	0,006916	0,000437	0,006623	0,004877	0,014046	0,016722	0,003382	0,011490
Têxtil e Vestuário	0,005999	0,000305	0,007453	0,002842	0,027526	0,006027	0,003805	0,010108
Outras Indústrias	0,005995	0,000233	0,005791	0,002563	0,013287	0,004641	0,002957	0,008411
Papel e celulose	0,007751	0,000517	0,005840	0,003474	0,012447	0,006391	0,002982	0,012103
Química	0,006841	0,000363	0,005402	0,004258	0,012486	0,005318	0,002758	0,009915
Cimentos	0,002528	1,000058	0,002506	0,000548	0,005223	0,002561	0,001280	0,001833
Metalurgia	0,010689	0,000173	1,008412	0,001813	0,017834	0,010402	0,004295	0,006948
Comércio e Serviço	0,004648	0,000064	0,003047	1,000684	0,006567	0,004441	0,001556	0,002878
Transporte	0,003500	0,000047	0,002238	0,000508	1,004836	0,003337	0,001143	0,002157
Público	0,006376	0,000113	0,004514	0,001182	0,009702	1,006308	0,002305	0,004425
Petróleo e Gás Natural	0,009133	0,000462	0,009979	0,003762	0,045916	0,009453	1,005095	0,015968
Gás Liquefeito de Petróleo	0,007824	0,000243	0,005891	0,003121	0,012698	0,007963	0,003008	0,008236
Gasolina	0,019916	0,000410	0,012761	0,004569	0,026291	0,030063	0,006516	0,010591
Óleo Combustível	0,007582	0,000364	0,005442	0,006167	0,011455	0,006883	0,002779	0,016728
Óleo Diesel	0,006407	0,000305	0,005896	0,002933	0,012502	0,006351	0,003011	1,007661
Outros Refinos de Petróleo	0,002622	0,000203	0,003360	0,001519	0,007325	0,003842	0,001715	0,004255
Álcool	0,019923	0,000237	0,009823	0,002572	0,021341	0,022504	0,005016	0,006345
Elettricidade	0,001751	0,000135	0,002085	0,001026	0,004559	0,001892	0,001065	0,003017
Total	1,176547	1,006171	1,157384	1,073956	1,372405	1,200406	1,080358	1,200342

Fonte: Elaboração própria a partir da matriz de insumo-produto do IBGE e de informações disponíveis no Balanço Energético Nacional, BEN (BRASIL, 2008).