



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO DE
SISTEMAS ENERGÉTICOS**

SIMONE TATIANE DO CANTO

**Avaliação dos indicadores de energia e emissões
de GEE da gasolina e óleo diesel no Brasil
através da análise de insumo-produto**

04/2014

**CAMPINAS
2014**



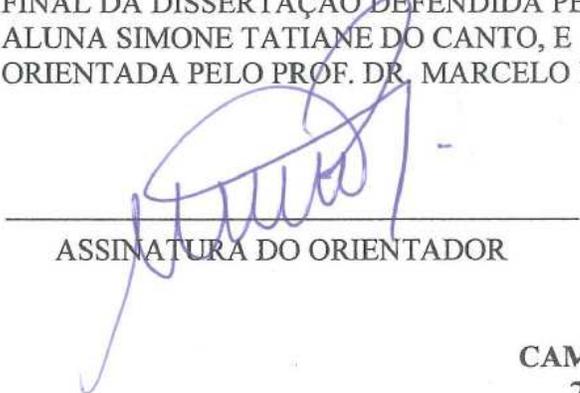
SIMONE TATIANE DO CANTO

Avaliação dos indicadores de energia e emissões de GEE da gasolina e óleo diesel no Brasil através da análise de insumo-produto

Dissertação de Mestrado apresentada à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Estadual de Campinas como
parte dos requisitos exigidos para obtenção
do título de Mestra em Planejamento
de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha
Co-orientador: Prof. Dr. Joaquim Eugênio Abel Seabra

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA SIMONE TATIANE DO CANTO, E
ORIENTADA PELO PROF. DR. MARCELO PEREIRA DA CUNHA



ASSINATURA DO ORIENTADOR

CAMPINAS
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizângela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

C168a Canto, Simone Tatiane do, 1981-
Avaliação dos indicadores de energia e emissões de GEE da gasolina e óleo diesel no Brasil através da análise de insumo - produto / Simone Tatiane do Canto. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Marcelo Pereira da Cunha.
Coorientador: Joaquim Eugênio Abel Seabra.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Análise de insumo - Produto. 2. Combustíveis fósseis. 3. Energia. 4. Efeito estufa. 5. Petróleo - Refinação. I. Cunha, Marcelo Pereira da. II. Seabra, Joaquim Eugênio Abel, 1981-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Evaluation of energy and GHG emissions indicators of gasoline and diesel oil in Brazil by the input - output analysis

Palavras-chave em inglês:

Input - output analysis

Fossil fuels

Energy

Greenhouse effect

Oil refining

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Mestra em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

Marcelo Pereira da Cunha [Orientador]

Ricardo Luis Lopes

Sergio Valdir Bajay

Data de defesa: 23-01-2014

Programa de Pós-Graduação: Planejamento de Sistemas Energéticos

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

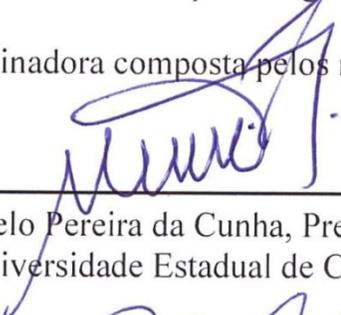
**Avaliação dos indicadores de energia e emissões
de GEE da gasolina e óleo diesel no Brasil
através da análise de insumo-produto**

Autora: Simone Tatiane do Canto

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha

Co-orientador: Prof. Dr. Joaquim Eugênio Abel Seabra

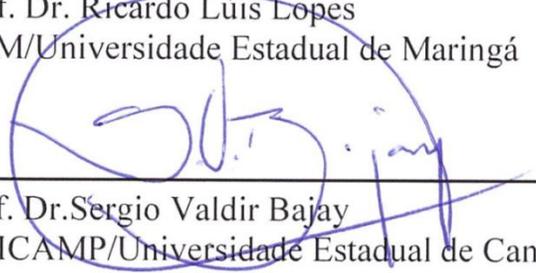
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha, Presidente.
UNICAMP/Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Ricardo Luis Lopes
UEM/Universidade Estadual de Maringá



Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay
UNICAMP/Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 23 de janeiro de 2014.

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu saudoso pai, Aparecido Donizeti, e minha querida mãe
Teresinha.

Agradecimentos

Desejo expressar aqui meus mais sinceros agradecimentos, primeiramente a Deus que tem proporcionado inúmeras conquistas em minha vida, e a todos que contribuíram, direta e indiretamente, com a realização deste trabalho; como o espaço é pequeno, cito aqueles que participaram de maneira mais próxima na conclusão deste feito.

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, Marcelo Pereira da Cunha, e ao meu co – orientador, Joaquim Eugênio Abel Seabra, por toda a orientação e apoio para a realização deste trabalho, além do auxílio para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao corpo docente do programa de pós – graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp que, de modo ímpar, possibilitou a atuação em uma área interdisciplinar.

Ao professor Joaquim José Martins Guilhoto, que compartilhou dados essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha família, pelo apoio incondicional ao longo de todo o meu percurso.

Para Silvia Rosa do Nascimento e Luis Vanderlei Torres, agradeço pelas discussões ao longo do trabalho, como também pelo auxílio na organização final do texto.

A CAPES pelo apoio financeiro ao longo do mestrado.

Também agradeço aos funcionários da Unicamp e demais pessoas que, de alguma forma, auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”
(Eleanor Roosevelt)

Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar os indicadores de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) na cadeia produtiva da gasolina e do óleo diesel mineral no Brasil, com uso do modelo de insumo-produto monetário e híbrido, de modo a realizar, também, uma comparação entre os seus resultados. O ano base utilizado foi de 2009, ano mais recente possível de estimar a matriz de insumo-produto a partir dos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os modelos (monetário e híbrido) contêm 25 setores e 114 produtos; a técnica permite que sejam computados todos os efeitos diretos e indiretos envolvidos na cadeia produtiva dos setores avaliados. A base de dados usada consistiu, basicamente, nas tabelas de recursos e usos do IBGE (relativas ao ano de 2009), bem como na matriz consolidada relativa aos setores e produtos energéticos (também de 2009) do Balanço Energético Nacional (BEN), divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Os resultados obtidos com os dois modelos foram muito próximos, tanto para a gasolina quanto para o óleo diesel; em geral, os efeitos indiretos capturados no modelo híbrido foram um pouco maiores dado o maior encadeamento entre os setores energéticos quando as transações setoriais entre estas atividades são computadas em unidades físicas. Com o uso do modelo híbrido, os principais resultados obtidos são de 1,201 ktep e 1,202 ktep de energia incorporados em cada 1 ktep de gasolina e óleo diesel, respectivamente; com relação às emissões de GEE, os indicadores encontrados são de 75,32 gCO₂eq/MJ para a gasolina e 86,91 gCO₂eq/MJ para o óleo diesel.

Palavras Chave: análise de insumo-produto, combustíveis fósseis, indicadores de energia, emissões de gases de efeito estufa, refino do petróleo.

Abstract

The goal of this study is to evaluate energy and GHG emissions indicators for gasoline and diesel oil in Brazil; the methodology chosen was the Input-Output (IO) Analysis. For this purpose, an economic IO model and a hybrid IO model were made to provide a comparison between them. The analysis considers 2009 as base year, because this is the most recent year which is possible to estimate the Brazilian input-output matrix from official data when the project started. Both models (economic and hybrid) have 25 sectors and 114 commodities; the approach allows all direct and indirect effects through production chain to be estimated. The main data collected and used to build the models were the use and make matrices (provided by The Brazilian Institute of Geography and Statistics – IBGE) and the consolidated matrix with energy flows for primary and secondary energy sources (provided by The Brazilian Energy Research Company – EPE). The results obtained with both models are very similar, considering gasoline as well as diesel oil; in general, the indirect effects captured by the hybrid model are a little bit higher due to the stronger linkage among the energy sectors when the transactions through these activities are accounted in physic (energy) units. From hybrid model, the main results are 1.201 toe and 1.202 toe embodied energy for 1 toe of gasoline and diesel oil, respectively; with respect to GHG emissions, the indicators are 75.32 gCO₂eq/MJ to gasoline and 86.91 gCO₂eq/MJ to diesel oil.

Key Words: input-output analysis, fossil fuels, energy indicators, GHG emissions, oil refining.

Lista de Figuras

Figura 1.1 Consumo final de energia por fonte no Brasil (EPE, 2012).....	2
Figura 1.2 Evolução do consumo anual de gasolina A e óleo diesel no Brasil (EPE,2012)	3
Figura 2.1 Estrutura da ACV (COLTRO, 2007).....	14
Figura 2.2 Cálculo de energia incorporada na ACV.....	15
Figura 3.1 Estrutura da matriz de uso.....	33
Figura 3.2 Estrutura da matriz de produção.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Comparação entre as metodologias utilizadas para realizar a Análise de Ciclo de Vida, Hendrickson et AL. (2006).....	17
Tabela 3.1 Transações para a economia brasileira em 2009 (CUNHA, 2011).....	23
Tabela 3.2 Coeficientes diretos do uso de petróleo.....	27
Tabela 3.3 Transações para o modelo híbrido agregado em 3 setores.....	28
Tabela 3.4 Produtos desagregados.....	31
Tabela 3.5 Setores desagregados.....	31
Tabela 4.1 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE na cadeia produtiva de 1 ktep de gasolina.....	43
Tabela 4.2 Produtos que mais contribuem para emissões de GEE na cadeia produtiva da gasolina.....	44
Tabela 4.3 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.....	46
Tabela 4.4 Produtos que mais contribuem para emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.....	47
Tabela 4.5 Setores mais importantes no uso de energia doméstica para a produção de 1 ktep de gasolina.....	49
Tabela 4.6 Setores mais importantes no uso de energia importada para a produção de 1 ktep de gasolina.....	50
Tabela 4.7 Setores mais importantes na energia renovável incorporada da gasolina.....	51
Tabela 4.8 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de gasolina.....	52
Tabela 4.9 Energia não renovável incorporada em 1 ktep de gasolina.....	53
Tabela 4.10 Energia renovável incorporada em 1 ktep de gasolina.....	53
Tabela 4.11 Setores mais importantes no uso de energia doméstica para a produção de 1 ktep de óleo diesel.....	55

Tabela 4.12 Setores mais importantes no uso de energia importada para a produção de 1 ktep de óleo diesel.....	55
Tabela 4.13 Setores mais importantes na energia renovável incorporada ao óleo diesel.....	57
Tabela 4.14 Efeitos diretos e indiretos da energia incorporada em 1ktep de óleo diesel.....	57
Tabela 4.15 Energia não renovável incorporada em1 ktep de óleo diesel.....	58
Tabela 4.16 Energia renovável incorporada em1 ktep de óleo diesel.....	59
Tabela 4.17 Preço básico por ktep de produtos energéticos	60
Tabela 4.18 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE em 1ktep de gasolina.....	61
Tabela 4.19 Produtos que mais contribuem para as emissões de GEE na cadeia produtiva da gasolina.....	62
Tabela 4.20 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE em 1ktep de óleo diesel.....	63
Tabela 4.21 Produtos que contribuem para emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.....	64
Tabela 4.22 Energia doméstica primária incorporada em 1 ktep de gasolina.....	66
Tabela 4.23 Energia importada incorporada em 1 ktep de gasolina.....	67
Tabela 4.24 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de gasolina – modelo híbrido.....	69
Tabela 4.25 Energia não renovável incorporada em1 ktep de gasolina, segundo modelo híbrido.....	70
Tabela 4.26 Energia renovável incorporada em 1ktep de gasolina – modelo híbrido.....	71
Tabela 4.27 Energia doméstica primária incorporada em 1 ktep de óleo diesel.....	72
Tabela 4.28 Energia Importada incorporada em 1 ktep de óleo diesel.....	73
Tabela 4.29 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de óleo diesel – modelo híbrido.....	74
Tabela 4.30 Energia não renovável incorporada em1 ktep de óleo diesel – modelo híbrido.....	75
Tabela 4.31 Energia renovável incorporada em1 ktep de óleo diesel – modelo híbrido.....	76
Tabela 4.32 Resultados agregados neste trabalho e no obtido por Cunha (2011).....	77
Tabela 4.33 Emissões de GEE e energia incorporada por ktep para a gasolina e óleo diesel “na bomba”	78

Tabela A.1 Correspondência setorial.....	89
Tabela B.1 Preços relativos de 2005 até 2009.....	92
Tabela C.1 Nível de agregação dos setores.....	95
Tabela C.2 Nível de agregação dos produtos.....	96

Lista de Abreviaturas e Siglas

Letras Latinas

A – matriz dos coeficientes técnicos

a_{ij} – elementos da matriz de coeficientes técnicos

B – matriz dos coeficientes técnicos, referente à matriz de uso

b_{ij} – elementos da matriz B

D - matriz de Market Share

d_{ij} – elementos da matriz de Market Share

E - demanda final pelos produtos

i – linha

j – coluna

n – setores da economia

Q – vetor que contém a produção

Q_j – i-ésimo elemento do vetor Q

U – matriz de uso

u_{ij} – elementos da matriz de uso

V – matriz de produção

v_{ij} – elementos da matriz de produção

VA - Valor adicionado

X – Vetor coluna das receitas de cada setor

X_T – Vetor linha das despesas de cada setor

Y – Vetor da demanda final

Z – matriz do consumo intermediário

z_{ij} – elementos da matriz consumo intermediário

Letras Gregas

\emptyset - Matriz nula

$\emptyset_{n \times 1}$ - Vetor nulo

Π – Produtório

Δ - variação

.....

Siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Análise de Ciclo de Vida

API – American Petroleum Institute

BEN – Balanço Energético Nacional

CCS - Carbon Capture and Storage

CO₂ - Dióxido de carbono

CH₄ - Metano

CNAE - Classificação Nacional das Atividades Econômicas

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento /(ECO92 ou Rio92)

EIO-LCA - Economic Input-Output Life Cycle Assessment

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GEE – Gases de efeito estufa

GgCO₂eq - Giga grama de dióxido de carbono equivalente

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

HFC - Hidrofluorcarbonos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA – International Energy Agency

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO - International Organization for Standardization
ktep – Mil toneladas equivalentes de petróleo
MJ - Mega Joule
MMA - Ministério do Meio Ambiente
N₂O - Óxido nitroso
PIB – Produto Interno Bruto
PFC - Perfluorcarbonos
SF₆ - Hexafluoreto de enxofre
T&D - Transmissão e distribuição de eletricidade
TRU - Tabela de Recursos e Usos

Sumário

1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Organização da dissertação.....	5
2 Revisão da Literatura sobre modelagem de energia e GEE através da análise de insumo – produto e análise de ciclo de vida (ACV).....	7
2.1 Análise de insumo-produto.....	7
2.1.1 Aplicações da análise de insumo-produto em estudos de energia e emissões de GEE no Brasil.....	9
2.2 Análise de Ciclo de Vida (ACV) baseada em processos.....	13
2.2.1 Aplicações da análise de ciclo de vida (ACV) em estudos de energia e emissões de GEE.....	16
2.3 Integração entre ACV e Análise de Insumo-Produto	17
3 A metodologia adotada nesta dissertação	21
3.1 O modelo básico de insumo-produto.....	21
3.1.1 O modelo em valores monetários.....	22
3.1.2 O modelo híbrido.....	28
3.2 Nível de agregação dos modelos implementados (monetário e híbrido).....	30
3.3 Metodologia utilizada para avaliação da energia incorporada e das emissões de GEE.....	33
3.3.1 Coeficientes de emissões utilizados para avaliação das emissões de GEE.....	37
3.4 Fontes de dados utilizados para obtenção das matrizes híbrida e monetária.....	38

4	Resultados e Discussões.....	41
4.1	Justificativas para as desagregações.....	41
4.2	Resultados do modelo monetário.....	42
4.2.1	Emissões de GEE para a gasolina.....	42
4.2.2	Emissões de GEE para o óleo diesel.....	44
4.2.3	Energia incorporada da gasolina.....	48
4.2.4	Energia incorporada do óleo diesel.....	54
4.3	Resultados do modelo híbrido.....	59
4.3.1	Emissões de GEE para a gasolina.....	62
4.3.2	Emissões de GEE para o óleo diesel	63
4.3.3	Energia incorporada da gasolina	65
4.3.3.1	Energia incorporada direta e indiretamente na demanda de 1 ketp de gasolina.....	68
4.3.4	Energia incorporada do óleo diesel.....	71
4.3.4.1	Energia incorporada direta e indiretamente na demanda de 1ketp óleo diesel.....	74
4.4	Comparações finais entre os modelos.....	76
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	79
5.1	Resultados mais relevantes.....	79
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	ANEXO A.....	88
	ANEXO B.....	92
	ANEXO C.....	94

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

Embora o interesse em utilizar fontes de energia renováveis tenha aumentado nas últimas duas décadas, motivado pela preocupação em mitigar emissões de gases de efeito estufa (GEE) e reduzir a dependência do consumo de petróleo suprido principalmente por países localizados em regiões de constante conflito geopolítico, as fontes fósseis devem manter a sua predominância até pelo menos a metade do século XXI, de acordo com os cenários apresentados pelo World Energy Outlook¹ (IEA, 2010).

De acordo com Braga (2012), ao longo dos últimos três séculos, a matriz energética mundial esteve apoiada no uso de combustíveis de origem fóssil: petróleo, carvão mineral e gás natural; os dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2010) revelam que 80% de toda a oferta de energia primária no mundo, em 2009, foram de origem fóssil, ou seja, não renovável.

Devido à grande demanda por energia de origem não renovável houve uma preocupação com o meio ambiente, pois o uso excessivo de fontes energéticas de origem fóssil pode exercer forte influência sobre o clima do planeta, segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Este ainda nos diz que estudos científicos comprovam um aumento de 0,8 graus Celsius na temperatura média da Terra desde o início do século XX até seu final; além do mais, a temperatura do planeta pode se elevar ao longo do século XXI em 6 graus Celsius, em relação ao período pré-industrial, se as emissões de GEE continuarem expandindo no ritmo em que estão. Para que a ampliação seja de 2 graus Celsius, é necessário reduzir a participação dos fósseis na matriz energética mundial, pois tal acréscimo é causado pelo excesso dos chamados gases de efeito estufa (GEE), principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano CH₄ e óxido nitroso (N₂O). Segundo o IPCC, o crescimento global da concentração de CO₂ se deve principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança do uso da terra

¹Nesta edição do World Energy Outlook foi examinado, através de cenários globais, os desafios que se colocam ao sistema de energia: satisfazer a crescente necessidade mundial, em matéria de energia, sustentada pelo aumento da renda e da população nas economias emergentes; disponibilizar o acesso à energia para populações mais pobres do mundo e cumprir os objetivos mundiais em termos de mitigar os efeitos nocivos das mudanças climáticas.

(desmatamentos seguidos de queimadas). Já as elevações das concentrações de CH₄ e N₂O são devidas principalmente às atividades agrícolas como um todo.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004), foi elaborado um documento consensual denominado agenda 21², que foi assinado por 179 países, incluindo o Brasil. Tal documento propõe que os países envolvidos traduzam, em ações, os conceitos de desenvolvimento sustentável. Este documento reflete a preocupação mundial com o meio ambiente e justifica o crescente interesse em substituir fontes não renováveis por fontes renováveis. Neste sentido, há a necessidade de se obter o conhecimento quanto à energia incorporada e quanto aos GEE emitidos pelo uso de fontes não renováveis e renováveis, de modo que seja possível avaliar as políticas que promovem o aumento do uso de fontes renováveis de energia.

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2012), em relação ao consumo final de energia por fonte no país em 2011, houve a participação de 17,7% para o óleo diesel, 16,7% para a eletricidade e 8,5% para a gasolina, como pode ser verificado pela Figura 1.1.

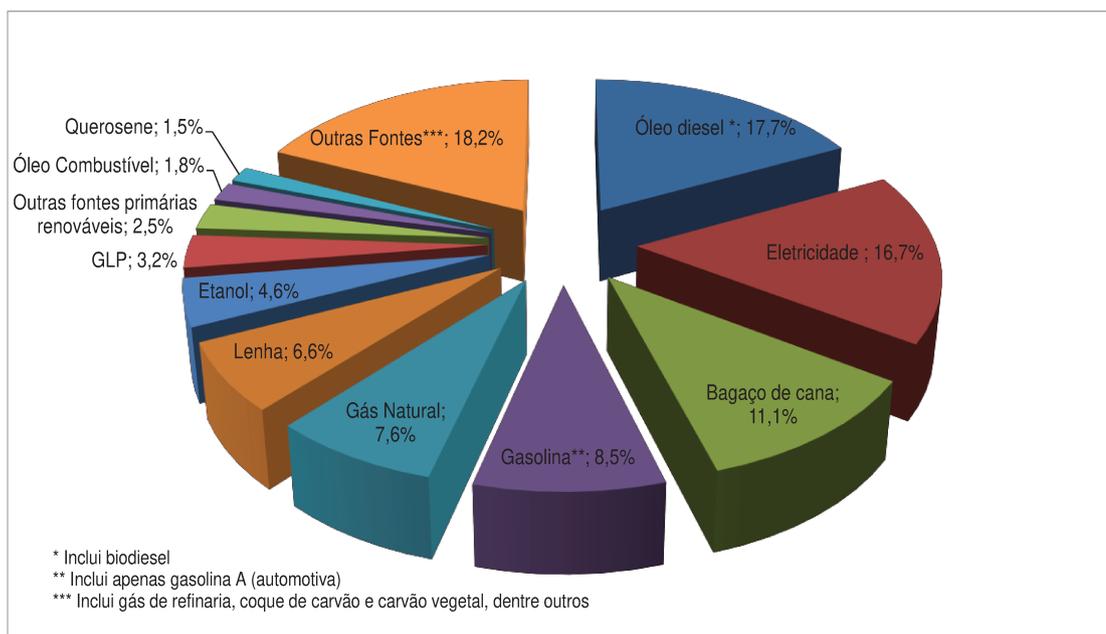


Figura 1.1 Consumo final de energia por fonte no Brasil em 2011 (EPE, 2012).

As participações elevadas de óleo diesel e gasolina na economia brasileira se devem à prevalência do modal rodoviário no setor de transportes no país. Isto porque,

²A Agenda 21 é um documento, que foi emitido na ECO92 (ou Rio92, Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – CNUMAD – realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro), que tem como objetivo sistematizar um plano de ações a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável.

no governo de Juscelino Kubitschek (1956 a 1961), se estabeleceu a abertura da economia brasileira para o capital internacional, o que trouxe a atração e a chegada de algumas indústrias multinacionais, incluindo a indústria automobilística (BELIEIRO, 2012). A partir do final da década de 1970, como se nota na Figura 1.2, o consumo de óleo diesel ultrapassou o consumo de gasolina pura, explicado pelo aumento da importância do modal rodoviário no transporte de cargas e pelo crescimento do consumo de etanol combustível na frota de veículos leves no Brasil.

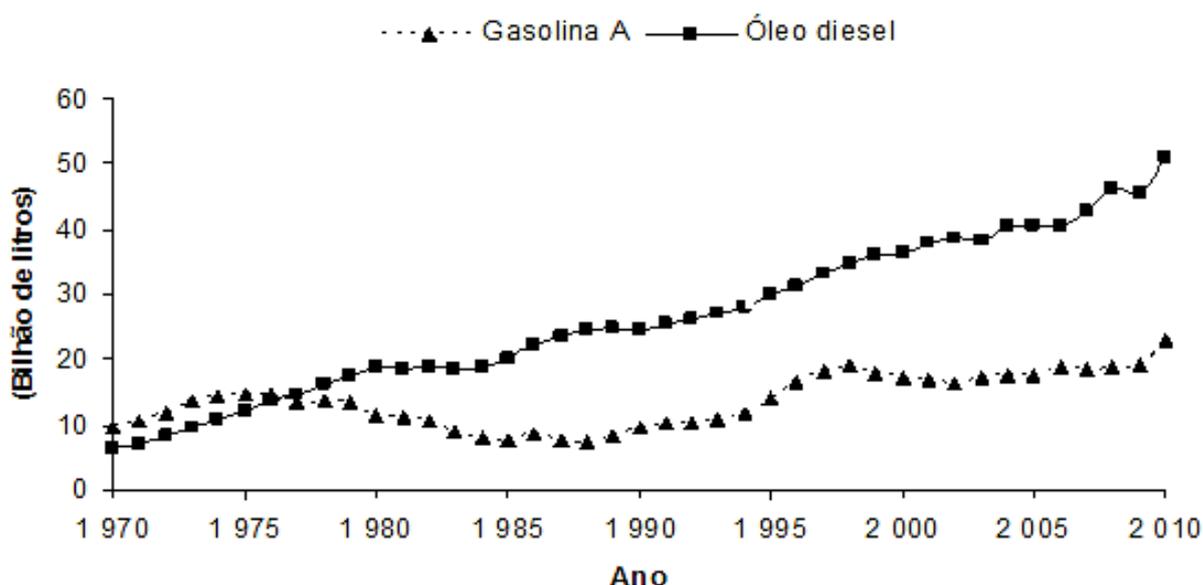


Figura 1.2 Evolução do consumo anual de Gasolina A e Óleo Diesel no Brasil

Fonte: Cunha, 2011

O aumento do uso de etanol (anidro e hidratado) combustível no Brasil está diretamente ligado às crises internacionais do petróleo em 1973 e 1979, que deu origem ao Proálcool³, impulsionando a indústria sucroalcooleira brasileira.

O etanol anidro tem sido adicionado à gasolina pura (tal mistura é conhecida como gasolina C ou gasoálcool), trazendo aumento da octanagem⁴ da gasolina e reduzindo o efeito detonante. Esta prática permitiu ao Brasil ser um dos primeiros

³ Proálcool é o programa lançado no país em 1975 para reduzir a dependência da importação de petróleo. Considerações econômicas da indústria do açúcar também pesaram no estabelecimento do programa, porém preocupações de caráter ambiental e social não tiveram um papel significativo na ocasião.

⁴ Octanagem é a medida de resistência de um combustível a auto-ignição e à detonação.

países no mundo a abolir o uso do chumbo tetraetila, um aditivo antidetonante nocivo à saúde humana e ao meio ambiente (BNDES, CGE, 2008).

1.2 Objetivos

Como visto na Figura 1.1, o óleo diesel e a gasolina representam 26,2% do total do consumo final de energia no país em 2011. Dadas as participações destes produtos energéticos no Brasil, bem como a importância da economia brasileira no mundo (O Brasil apresentou o sétimo maior PIB do planeta em 2012, de acordo com o Fundo Monetário Internacional), torna-se relevante a investigação a respeito do total de energia incorporada e das emissões de gases de efeito estufa (GEE)⁵ destes dois combustíveis fósseis consumidos pela sociedade brasileira. Assim, este trabalho possui dois objetivos principais:

1. Avaliar e comparar os indicadores de energia e emissões GEE incorporados no consumo de gasolina e óleo diesel no Brasil, levando em consideração os efeitos diretos e indiretos relativos aos seus processos de produção dentro da estrutura econômica do país;
2. Comparar os resultados destes indicadores usando um modelo monetário e um híbrido de insumo-produto. Neste aspecto, este trabalho traz inovações para a literatura, pois, tradicionalmente, estes indicadores são quantificados através da Análise de Ciclo de Vida baseada em processos.

A dissertação possui dois objetivos secundários:

1. Obter uma matriz de insumo-produto monetária com os principais setores energéticos desagregados: Petróleo, Gás Natural, Carvão Vapor, Lenha, Produtos Energéticos da Cana, Refino do Petróleo, Óleo Diesel, Gasolina, Geração e Transmissão de Eletricidade.

⁵ Entende-se como GEE os gases como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFC), os perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆) e outros. Logo, o cálculo das emissões de GEE é realizado aplicando-se coeficientes de intensidade de emissões de GEE sobre a intensidade do consumo de energia de cada setor.

2. Obter uma matriz híbrida de insumo-produto em unidade energética (ktep – mil toneladas equivalentes de petróleo) para os setores energéticos, e em unidades monetárias (R\$ milhão de 2009) para os setores não energéticos.

1.3 Organização da dissertação

Na seqüência deste trabalho, apresenta-se, no Capítulo 2, uma revisão da literatura sobre alguns aspectos relevantes associados a esta pesquisa, tais como uma visão geral sobre o emprego da análise de insumo-produto e uma breve revisão do uso da análise de ciclo de vida (ACV) em energia e em impactos ambientais (emissões de GEE).

No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia proposta e empregada neste trabalho, bem como a obtenção dos dados e as hipóteses assumidas para o cálculo dos coeficientes setoriais de energia e emissões de GEE.

No Capítulo 4 estão os resultados obtidos com suas respectivas discussões. Por fim, no Capítulo 5, são expostas as conclusões do trabalho, como também as considerações finais sugerindo a continuidade do estudo em alguns assuntos específicos.

2 Revisão da Literatura sobre modelagem de energia e GEE, através da análise de insumo–produto e análise de ciclo de vida (ACV)

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre a obtenção de indicadores de energia e emissões de GEE com uso do modelo de insumo-produto. Como a análise de ciclo de vida (ACV) baseada em processo é a mais usual para se quantificar tais indicadores realizou-se, também, uma revisão da literatura para este método, que se encontra na seção 2.2 e, na seção 2.3, efetuou-se uma revisão sobre como é feito o emprego destes dois métodos simultaneamente em uma análise.

2.1 Análise de insumo-produto

O modelo de insumo-produto é desenvolvido pelo economista russo Wassily Leontief. Tal modelo permite identificar a dependência entre as atividades produtivas quanto aos insumos e produtos utilizados na cadeia produtiva dos setores. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), a melhor representação para a natureza complexa do sistema produtivo é dada por meio de matrizes, o que proporcionou a origem do nome Matriz de Insumo-Produto.

Os pesquisadores do IPEA afirmam que, atualmente, a elaboração das matrizes de insumo-produto brasileiras é de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cuja periodicidade é quinquenal, de modo que a mais recente é de 2005. O cálculo das matrizes, realizado pelo IBGE, entre diversas informações é feito a partir dos dados das Tabelas de Recursos e Usos (TRU's), que são divulgadas anualmente, sendo a mais recente relativa ao ano de 2009.

Segundo Miller e Blair (2009), a contribuição dos setores econômicos no processo de produção se apresenta de forma direta e indireta, assim, a verificação dos efeitos diretos e indiretos, contidos no processo, possibilita-nos verificar o impacto que determinados setores causam no processo produtivo estudado. Para exemplificar como são tratados os efeitos diretos e indiretos no processo produtivo, cita-se a demanda por

óleo diesel. De modo a atender esta demanda, o setor refino e coque de petróleo recebem, principalmente, insumo do setor extração de petróleo e gás natural; o uso de petróleo pelo refino diz respeito ao que é denominado como efeito direto ao setor refino e coque de petróleo. Por outro lado, para que haja extração de petróleo, há a necessidade de um maquinário envolvido no processo, de maneira que outros setores são acionados, a fim de fornecer insumos para o setor de petróleo e gás natural, e com isso tais setores consigam realizar a extração de seus produtos; este processo de se adicionar o fornecimento de insumos de outros setores, a partir dos insumos necessários para o refino de petróleo, corresponde ao que é conhecido como efeitos indiretos.

Ainda segundo os autores, o modelo de Insumo-Produto foi aplicado pela primeira vez para expor as relações intersetoriais da economia norte-americana, entre 1919 e 1929. Estes autores afirmam que, desde sua primeira aplicação, o modelo tem sido usado em diversos trabalhos em economia aplicada, o que inclui estudos em economia regional, aplicações em estudos energéticos e ecológicos⁶.

O modelo de Insumo-Produto pode ser utilizado em diferentes tipos de análise energética, entre as quais se destacam (i) a avaliação da energia líquida, a qual corresponde à comparação entre a energia produzida por um processo e a energia necessária para criar e sustentá-lo; (ii) o custo energético de bens e serviços, que pode ser usado para estimar os gastos totais de energia para atender a demanda final da economia e (iii) a avaliação do impacto de uma nova tecnologia na produção energética na economia de um país. Outros estudos foram feitos relativos ao impacto da aplicação de uma taxa ao uso de energia, encarecendo, desta forma, produtos energo-intensivos (MILLER e BLAIR, 2009). Ainda segundo estes autores, a matriz de insumo-produto tem sido utilizada para diversos outros problemas, dentre os quais estão a análise de custo-benefício de diferentes programas de conservação energética, a análise do consumo de energia, o balanço regional do consumo de energia, a caracterização da balança comercial, entre outros.

Outra utilização dos modelos de insumo-produto é na resolução de problemas do meio ambiente, como poluição e utilização de recursos naturais. A utilização do instrumental de insumo-produto para este fim se deve, por um lado, ao aumento da conscientização da importância das questões ambientais, e por outro, pelo fato do instrumental de insumo-produto ser o mais indicado para a avaliação dos impactos

⁶ Uma descrição mais detalhada do modelo e de suas aplicações nas diversas áreas encontra-se em MILLER e BLAIR, 2009.

indiretos na geração e eliminação de poluição e na utilização de recursos naturais, passando pela geração e utilização de energia (MILLER e BLAIR, 2009).

2.1.1 Aplicações da análise de insumo-produto em estudos de energia e emissões de GEE no Brasil

A conscientização da importância das questões ambientais tem aumentado nos últimos anos, de modo que o enfoque sobre o emprego de modelos em problemas de meio ambiente, como a poluição e a utilização de recursos naturais, tem se destacado (GUILHOTO, 2011). O autor ainda relata que, devido a tal fato, o uso do instrumental de insumo-produto tem aumentado significativamente, pois esta metodologia possibilita a mensuração dos impactos diretos e indiretos na geração e eliminação de poluição e na utilização de recursos naturais, passando pela geração e utilização de energia.

De acordo com Labandeira e Labeaga (2002), a utilização do modelo de insumo-produto parece ser a mais adequada para identificar os verdadeiros emissores, já que os setores econômicos possuem certa interdependência⁷, tanto na esfera da produção quanto na emissão de poluição.

Na avaliação de emissões de dióxido de carbono (CO₂), usualmente estima-se o uso de energia pelas indústrias e consumidores finais através de um modelo de insumo-produto de energia e, a partir de coeficientes de conversão, estimam-se as emissões de CO₂ decorrentes. Diante disso, o cálculo de emissões de GEE é realizado aplicando-se coeficientes de emissões sobre as intensidades do consumo de energia (GUILHOTO, 2011).

O trabalho realizado por Machado (2002) é aplicado para o estudo da economia brasileira relativa aos anos de 1985, 1990 e 1995. Este autor avalia os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões de GEE por parte da economia brasileira, utilizando um modelo de insumo-produto em unidades híbridas no formato produto-por-atividade. O autor justifica o uso da abordagem produto-por-atividade do

⁷ Tal interdependência pode ser entendida através de Casler e Blair (1997) que usam como exemplo a demanda por automóveis. Esta gera poluição não apenas na planta montadora, mas também na fábrica de pneus e na usina siderúrgica produtora de aço. Segundo estes autores mudanças nas relações de oferta e demanda, tais como mudanças na tecnologia ou na balança comercial com outras regiões ou nações, também podem mitigar ou exacerbar as emissões.

modelo híbrido por fornecer uma representação mais cuidadosa das transações de uma economia do que a representação tradicional atividade-por-atividade. A metodologia para obter o modelo híbrido encontra-se em Miller e Blair (2009). Os coeficientes totais de intensidade de energia primária e de carbono são estimados, através da multiplicação dos coeficientes totais de intensidade energética e de carbono, pelas estatísticas de comércio internacional em valores monetários (valores de importação e exportação). Aplicando a matriz de coeficientes técnicos às exportações e às importações brasileiras, o autor avalia a energia e o carbono incorporados no comércio exterior do país.

Os resultados obtidos por Machado (2002) mostram que o Brasil não exporta apenas o líquido de energia e carbono, embutido em cada produto não-energético comercializado internacionalmente, mas cada dólar relacionado às exportações inclui consideravelmente mais energia e carbono do que cada dólar auferido com as importações. Tais resultados sugerem uma reformulação de políticas brasileiras atentando para os impactos extras que a política comercial vem a ter sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país no futuro.

Pimenteira (2002) analisou os impactos em um cenário havendo variação dos coeficientes técnicos das emissões de GEE e da diminuição do consumo de energia. Este estudo foi realizado através da matriz de insumo-produto do estado do Rio de Janeiro. Foram obtidos resultados quanto à análise da economia de energia que se obtém com a reciclagem e a quantidade de emissões de GEE evitadas. O autor escolheu a metodologia de insumo-produto para realizar seu estudo, beneficiando-se da visão integrada dos setores da economia que este modelo proporciona. Neste trabalho o autor usou um modelo dinâmico de insumo-produto, projetando as matrizes através da atualização dos coeficientes técnicos e, para tal, utilizou a técnica matemática do método bi proporcional de ajuste (conhecido também como RAS⁸).

Em outra aplicação da análise de insumo-produto relativa ao uso de energia e emissões de gases de efeito estufa, Hilgemberg (2004) realizou os cálculos de emissões, aplicando coeficientes de emissões sobre as intensidades de consumo de energia; para adquirir tais coeficientes e intensidades de consumo de energia, o autor insere um vetor de intensidade de poluição que contém coeficientes de poluição setoriais, podendo

⁸ O método RAS foi concebido por Richard Stone e consiste em estimar uma matriz a partir de uma anterior. O nome RAS decorre do seguinte: *A* representa a matriz de coeficientes original; *R* é uma matriz diagonal de elementos *r* que representam o fator de correção das células de *A* ao longo das linhas (total atual/total antigo); e *S* é uma matriz diagonal de elementos *s* que representam o fator de correção das células de *A* ao longo das colunas (total atual/total antigo). Mais detalhes sobre o método RAS, ver Miller e Blair (2009).

quantificar as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados do petróleo tanto em nível nacional quanto regional (em seis regiões). Através da demanda final, do consumo interindustrial e do efeito induzido⁹ de cada energético estudado por Hilgemberg (2004), foi possível verificar a parcela de emissões totais. Usando as elasticidades de emissões estimadas por Tourinho e Andrade (1998), Hilgemberg realizou, em seu estudo, o cálculo das elasticidades das emissões com variação na demanda final, o que possibilitou identificar os setores-chave nas emissões originadas de cada setor energético.

Com a finalidade de captar as relações existentes entre o desempenho econômico e emissões de CO₂ no Brasil, Imori (2007) tomou como base o ano de 2002 e analisou a participação dos diferentes setores nas emissões totais, levando em consideração, a estrutura tecnológica da economia, as inter-relações setoriais, a capacidade de geração de valor adicionado e o papel da demanda final nos setores nacionais. Para este propósito, a autora empregou a metodologia de insumo-produto para analisar o impacto da geração de renda e da demanda final sobre as emissões. Neste trabalho, analisaram-se os impactos de políticas setoriais em termos da emissão de CO₂. Os principais resultados encontrados apontam que, tanto sob perspectiva da produção, quanto da demanda, destacam-se os mesmos setores-chave, em especial o de Transportes.

Carvalho e Perobelli (2008) quantificaram as emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos através de um modelo híbrido inter-regional de insumo-produto, em uma abordagem setor-setor, considerando o estado de São Paulo e o resto do Brasil. A matriz usada no trabalho corresponde ao ano de 1996; no estudo, foram calculadas as intensidades de emissões de CO₂ devido à queima de combustíveis (principalmente os fósseis) em 15 setores, identificando-se a parcela de emissões totais através da demanda final e do consumo intermediário. Assim como Hilgemberg (2004), estes autores calcularam os setores-chave nas emissões por meio das elasticidades de emissões em relação à demanda final e verificaram a quantidade de CO₂ incorporada nas exportações. Diante dos resultados obtidos, os autores mostram que a pauta de exportações brasileiras é, em grande parte, intensiva em poluição relacionada aos gases de efeito estufa (GEE).

Santiago, Carvalho e Perobelli (2010) aplicaram no estado de Minas Gerais, com o mesmo propósito, a metodologia de Carvalho e Perobelli (2008). Trabalham com um

⁹ O efeito induzido diz respeito ao aumento da atividade econômica causado pelo aumento de renda das famílias que fora originado por um aumento da demanda final.

modelo regional híbrido de insumo-produto, por meio do qual calcularam previsões anuais de consumo de combustíveis para a economia como um todo no período de 2008-2017, o que possibilitou projetar a quantidade de emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis no estado de Minas Gerais. Construíram um módulo de insumo-produto híbrido a partir da matriz de 2005, estimada pelo IBGE, e com dados de uso de combustíveis derivados do petróleo, disponíveis no Balanço Energético Nacional de 2008. As informações apresentadas são para 13 setores de atividades desagregados. Os resultados obtidos indicaram que os setores: agropecuário, mineração, pelletização, e transportes são os setores chave, no que concerne às emissões.

Em relação à produção de biocombustíveis, no Brasil, Cunha (2011) avaliou e comparou os impactos e indicadores socioeconômicos e ambientais das principais rotas de produção de biodiesel entre 2005 e 2010. Este autor usou a análise de insumo-produto para a economia agregada em 73 setores produtivos e 120 produtos, quantificou os impactos e indicadores em termos do nível da produção setorial, dos empregos gerados, valor adicionado (PIB), balanço de energia e das emissões de GEE. Para tal trabalho o autor desenvolve e implementa um modelo de insumo-produto com base no ano de 2004, estimando, também, a energia e as emissões de GEE incorporados na gasolina, no óleo diesel mineral e no etanol de cana no Brasil.

Em outra aplicação do modelo de insumo-produto, Firme e Perobelli (2012) analisaram as mudanças estruturais no setor energético brasileiro nos anos de 1997 e 2002; para tal análise, utilizaram matrizes de insumo-produto estimadas pelo método proposto por Guilhoto e Sesso (2010). Os resultados são apresentados para quatorze setores produtivos da economia brasileira. A análise setorial foi feita em duas etapas. A primeira se constitui na quantificação de indicadores básicos de insumo-produto, como a identificação de setores-chave, análise de multiplicadores de emprego, renda e produção. Na segunda etapa foi realizada uma análise do modelo híbrido de insumo-produto, o qual possibilitou verificar quais os requerimentos diretos, indiretos e totais do setor de energia, o que permitiu melhor compreensão deste setor no Brasil. Estes autores usaram a mesma abordagem de modelo híbrido, encontrada em Hilgemberg (2004) e Miller e Blair (2009). O modelo de energia em unidades híbridas baseia-se em um conjunto de matrizes análogas ao do modelo convencional, isto é, matriz de transações ou fluxo de energia (medida em unidades físicas), matriz de requerimentos diretos de energia e matriz de requerimentos totais de energia (MILLER e BLAIR, 2009).

2.2 Análise de Ciclo de Vida (ACV) baseada em processos

Devido ao uso consagrado do método de Análise de Ciclo de Vida (ACV), baseado em processos para se adquirir indicadores de energia e impactos ambientais, esta seção tem por finalidade trazer uma breve revisão de literatura para esta metodologia. Enfatiza-se que neste trabalho foi feito o uso, apenas, do modelo de insumo-produto.

O conceito de Análise de Ciclo de Vida (ACV) diz respeito a uma técnica de gestão ambiental que envolve a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema, ao longo do ciclo de vida do produto em questão (ABNT, 2009).

A realização de uma ACV se faz de acordo com quatro passos fundamentais:

- (i) Primeiramente há a necessidade de se definir o objetivo e o escopo, ou seja, define-se e descreve-se o produto, o processo e a atividade envolvida no processo; tal descrição se dá ao estabelecer o contexto no qual a avaliação será feita e ao se identificar os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação;
- (ii) Em segundo lugar prossegue-se com a análise de inventário que é realizada através da compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produtos ao longo de seu ciclo de vida;
- (iii) O terceiro passo é a realização da avaliação dos impactos. Tal avaliação é feita através da análise dos efeitos gerados à humanidade e à ecologia, como também na utilização de energia, água, materiais e as liberações para o ambiente identificado na análise de inventário que foi realizada no passo anterior;
- (iv) Por fim, segue a interpretação, ou seja, a avaliação das constatações da análise de inventário e/ou da avaliação de impactos com relação ao objetivo e escopo definidos, buscando obter conclusões e recomendações. Os quatro passos descritos acima podem ser vistos na Figura 2.1.

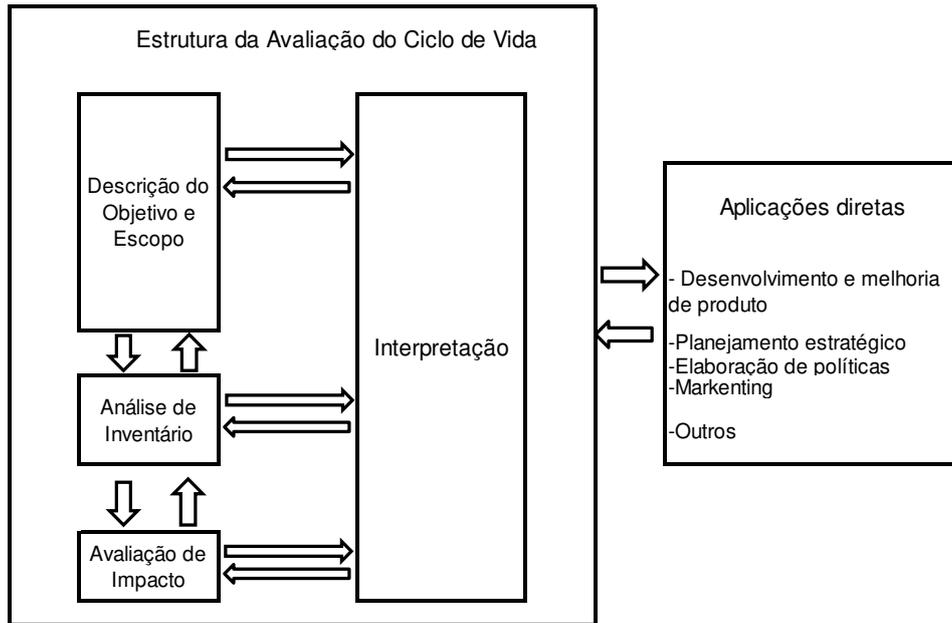


Figura 2.1 Estrutura da ACV (COLTRO, 2007)

Segundo Cavalett (2008), dentre todos os estágios analisados em uma ACV, faz parte a análise de energia incorporada; este autor afirma que tal análise indica a quantidade de energia comercial, utilizada em todo o ciclo de vida do produto estudado. O cálculo que Cavalett (2008) sugere segue na Figura 2.2.

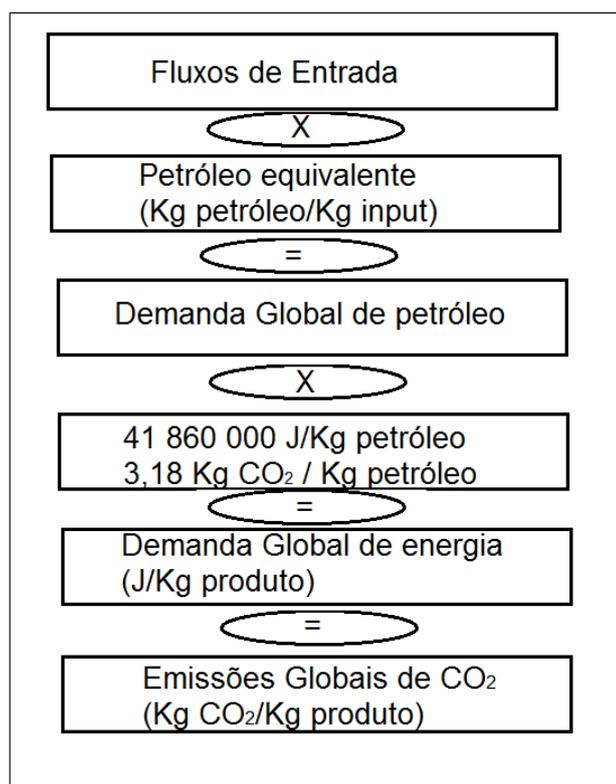


Figura 2.2 Cálculo de energia incorporada na ACV

Fonte: Cavalett, 2008

A agregação das metodologias, análise de energia incorporada e análise de ciclo de vida, resultam em uma metodologia de extrema abrangência, na avaliação de processos produtivos agrícolas ou industriais. Este tipo de abordagem vem sendo proposta por alguns pesquisadores como Bastianoni e Marchettini (1996), que estudaram a produção de bioetanol de cana-de-açúcar e de uva. Usando tal combinação das metodologias mencionadas, estes autores concluíram que a análise de energia incorporada complementa os resultados da análise de inventário da ACV, permitindo melhor compreensão dos sistemas produtivos.

2.2.1 Aplicações da análise de ciclo de vida (ACV) em estudos de energia e emissões de GEE

Com o objetivo de realizar um estudo sobre a avaliação do consumo de energia de fontes não renováveis e a quantidade de emissões de GEE para diferentes vias de produção de eletricidade e hidrogênio, Bouvart e Prieur (2009) estudaram os fluxos dos três principais GEE (ou seja, CO₂, CH₄ e N₂O). Este estudo foi realizado através da análise de ciclo de vida (ACV). De acordo com os autores, para indicar a energia primária de fontes não renováveis, existe uma gama de indicadores, como o gasto, a entrada e o rendimento de energia. Os pesquisadores optaram em utilizar apenas o indicador de entrada de energia de fontes não renováveis, expressas em Mega Joule (MJ), que informa a quantidade de energia primária de fontes não renováveis necessárias para produzir a quantidade desejada do produto em interesse. Este trabalho faz parte do projeto europeu DYNAMIS, que tem como objetivo investigar rotas para grande escala econômica da produção combinada de hidrogênio e eletricidade com integração da captura de CO₂ e armazenagem geológica (Carbon Capture and Storage-CCS¹⁰). Ainda segundo Bouvart e Prieur (2009), o desempenho ambiental das vias de produção com CCS leva a uma redução significativa das emissões de GEE ao longo dos processos de produção estudados, mas vai contra os potenciais em recursos de energia fósseis disponíveis e utilizados. Através de uma análise de sensibilidade, Bouvart e Prieur (2009) obtiveram os seguintes resultados: redução de 7% para vias sem o CCS e 34% de redução em vias com CCS; os cálculos realizados baseiam-se em uma eventual redução de emissões em 20, 40, 60 e 80%; os literatos afirmam que estas suposições em mitigações de emissões são realistas, pois inúmeras empresas tentam esgotar emissões de metano direcionando-as para a produção de energia, no uso de combustível na mina e fornecimento de gás natural; citam como exemplo a Alemanha.

Em outro estudo que faz uso da ACV, Arvidsson, *et. al.*(2012) o objetivo foi ilustrar como a aplicação de diferentes indicadores para a utilização de energia, em um processo para produção de biocombustível (no caso estudaram o óleo de palma como

¹⁰ O Carbon Capture and Storage (CCS), segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), usa tecnologias estabelecidas para capturar e armazenar emissões de dióxidos de carbono provenientes de grandes fontes pontuais, como as centrais elétricas que usam combustíveis fósseis – tipicamente, o carvão mineral. E também desempenha um papel importante para garantir que indústrias, como aço e cimento, continuem a operar sem emissões associadas.

matéria-prima) pode atingir resultados distintos. Para discutir a relevância dos distintos indicadores em situações distintas, bem como com o intuito de fornecer recomendações em futuras utilizações de indicadores para análise do uso de energia e na ACV de biocombustíveis, estes estudiosos encontraram cinco tipos desiguais de indicadores que descrevem o uso de energia: (1) fóssil, (2) secundária, (3) demandada e acumulada, (4) balanço de energia e (5) energia total extraída. Cada indicativo foi encontrado através do somatório energético dentro de sua categoria. Arvidsson, *et. al.*(2012) concluem que os prenúncios podem ser úteis em situações específicas, dependendo do objetivo e do âmbito da especificidade do estudo; quanto à escolha dos apontadores, os autores afirmam que há a necessidade de uma descrição mais transparente dos termos a que se referem aos indicadores, pois algumas literaturas os denominam como coeficientes.

2.3 Integração entre ACV e Análise de Insumo-Produto

Segundo o *Green Design Institute da Carnegie Mellon University*, reconhecido internacionalmente devido a sua liderança na abordagem denominada EIO-LCA (*Economic Input-Output Life Cycle Assessment*), a análise de ciclo de vida baseada no uso de uma matriz econômica de insumo-produto é a melhor definição de fronteiras do sistema estudado sem perder o nível de detalhamento desejado. De acordo com Hendrickson, Lave e Matthews (2006), há vantagens e desvantagens quando se compara a Análise de Ciclo de Vida, baseada em processos, e a Análise de Ciclo de Vida, baseada em Insumo-Produto, para estudos de impactos ambientais, como apresentado sucintamente na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Comparação entre as metodologias utilizadas para realizar a Análise de Ciclo de Vida, Hendrickson et AL. (2006)

Análise de Ciclo de Vida	
<i>Métodologia Padrão</i>	<i>Com uso do modelo de Insumo - Produto</i>
Resultados são detalhados	Resultados são para a economia como um todo
Recomendada para comparações entre produtos específicos	Prevê avaliações para o desenvolvimento futuro do produto. Prevê informações para cada produto na economia.
Identificam os gargalos do processo, os pontos fracos a serem analisados	Avaliações dos produtos contêm dados agregados.
Definição dos limites do sistema é subjetiva	O sistema avaliado envolve toda a economia.
Leva mais tempo e é mais cara	Não é custosa em termos de tempo e/ou custos.
Uso de dados privados - Não pode ser reproduzida se feita através de dados confidenciais	Possibilidade de uso público - Resultados podem ser reproduzidos.
Incerteza nos dados	Incertezas nos dados

Em relação à comparação dos dois métodos, chama-se a atenção para:

- (i) O uso do modelo de Insumo-Produto na ACV traz a desvantagem dos setores econômicos estarem muito agregados, o que impede que a análise para uma atividade específica seja realizada, a não ser que esta atividade seja desagregada da matriz original, o que requer, em geral, muito trabalho;
- (ii) Uma das vantagens de se usar Insumo-Produto na ACV está relacionada ao fato de ser menos custosa, quanto ao tempo para ser elaborada, pois as matrizes de insumo-produto (monetárias) se encontram disponíveis na divulgação dos sistemas de contas nacionais de cada país;

- (iii) As incertezas nos dados, para ambos os métodos, decorre dos dados disponíveis nos inventários que são usados para o cálculo dos coeficientes de emissões, energia, entre outros.

Usando a abordagem de Análise de Ciclo de Vida através de matrizes econômicas de insumo-produto (EIO-LCA) para a economia norte-americana, com base no ano 2002, Nealer, Matthews e Hendrickson (2011) estimam o total de energia incorporada e emissões de GEE em toda a cadeia de abastecimento para mais de 400 setores da economia. A estimativa inclui, ainda, as incertezas presentes na agregação dos dois modelos (ACV e Insumo-Produto) através da simulação de Monte Carlo, proposto por Rey, West e Janikas (2004). Segundo estes autores, mesmo realizando mudanças setoriais, que consistem em mudar os modais de transporte de cargas que exigem mais energia e emitem maior quantidade de GEE (como os caminhões), para modos de transportes que consomem menos e mitigam os GEE (por exemplo, ferroviário e aquático), não se conseguiriam diminuir, significativamente, a energia total do transporte de cargas e de emissões de GEE nos Estados Unidos, de modo que a mudança deveria ocorrer nas políticas de cada setor de forma a proporcionar estímulos para mudanças significativas.

No presente trabalho não foi utilizado o modelo de ACV baseado em processo, pois a proposta dele é analisar indicadores de emissões de GEE e energia, incorporada através do modelo de insumo-produto. Diante disso, a metodologia apresentada no capítulo 3, os resultados apresentados no capítulo 4 e as conclusões apresentadas no Capítulo 5 dizem respeito ao uso do modelo de insumo-produto.

3 A METODOLOGIA ADOTADA NESTA DISSERTAÇÃO

A avaliação dos indicadores de energia e de emissões de gases de efeito estufa incorporados para combustíveis (incluindo os fósseis) tem sido feita, na maior parte das vezes, com o uso da técnica de Análise de Ciclo de Vida (ACV). A partir da década de 1970, os modelos de insumo-produto também passam a ser empregados para a mesma finalidade, o qual é descrito em Miller e Blair (2009), e em Hendrickson, Lave e Matthews (2006).

Este capítulo tem por finalidade descrever o modelo de insumo-produto, executado nesta pesquisa. Fez-se o uso de um modelo didático, com dados originais agregados da matriz estimada de 2009, a fim de expressar com clareza ao leitor a metodologia utilizada, encontrada em detalhes em Miller e Blair (2009).

3.1 O modelo básico de insumo-produto

O modelo de insumo-produto descreve o fluxo monetário entre os setores produtivos em uma economia, sendo formulado por Wassily Leontief na década de 1930 e apresentado pela primeira vez em seu livro “The Structure of the American Economy”, publicado em 1941 (MILLER e BLAIR, 2009). Desde então, o modelo tem sido usado em diversos trabalhos em economia aplicada, incluindo estudos em economia regional, aplicações em estudos energéticos e ecológicos¹¹.

O modelo se tornou essencial para o planejamento, tanto de países com economia centralmente planejada (tipicamente os países do leste europeu e a ex União Soviética até seu colapso, no início dos anos 1990) quanto para aqueles que adotam uma economia de mercado. Devido aos trabalhos na área de economia aplicada, envolvendo a análise de insumo-produto, Leontief recebeu o prêmio Nobel de economia em 1973 (MILLER e BLAIR, 2009).

Como o objetivo principal deste trabalho é estimar os indicadores de energia e emissões de GEE incorporados na gasolina e no óleo diesel no Brasil, será apresentado

¹¹Uma descrição minuciosa do modelo de insumo-produto e de suas aplicações nas mais diversas áreas é encontrada em Miller e Blair (2009).

de forma didática, nas seções a seguir, a descrição dos modelos monetário e híbrido usados nesta pesquisa. Foram usados dois modelos de insumo–produto, a fim de realizar uma comparação entre os resultados fornecidos em cada modelo.

Um modelo monetário de insumo-produto apresenta os fluxos entre as atividades produtivas, expressas em unidades monetárias; um modelo híbrido de insumo-produto apresenta os fluxos de demanda por alguns setores em unidades físicas – tipicamente o consumo de energia, expresso em unidades energéticas (por exemplo, em tep – tonelada equivalente de petróleo) e, para as demais atividades, em unidades monetárias. Nos itens a seguir serão apresentadas as diferenças metodológicas entre as duas abordagens, com maior detalhe. A comparação entre os resultados de ambos os modelos, apresentada no Capítulo 4, permitirá identificar as diferenças entre eles.

3.1.1 O modelo em valores monetários¹²

A compreensão do modelo pode ser feita enxergando-se a economia de um país anexada em poucos setores. Com este propósito, é apresentado um modelo didático similar ao que é empregado neste estudo. Considere-se o quadro apresentado na Tabela 3.1, que mostra as transações intersetoriais, realizadas na economia brasileira, agregada em três setores para o ano de 2009, onde os setores produtivos são identificados como: *S1* – extração de petróleo e gás natural, *S2* – refino do petróleo e coque e *S3* – demais setores da economia. Cada setor produtivo da economia, em seu esforço de produção, usa insumos fornecidos pelos outros setores da economia doméstica, realiza importações, paga os impostos indiretos relativos às importações e ao consumo intermediário e remunera os fatores primários de produção (trabalho e capital). O valor da produção de um setor é igual à soma de todas as suas despesas.

¹² Esta seção é fundamentada em Cunha (2011).

Tabela 3.1 Transações para a economia brasileira em 2009 (CUNHA, 2011).

Brasil 2009 R\$ (Bilhão)	S1	S2	S3	Y	X
S1	2,612	53,834	5,335	19,833	81,614
S2	0,662	20,362	87,668	41,413	150,105
S3	40,896	16,905	2014,26	3149,96	5249,02
VA	37,443	59,004	3114,76		
Valor da Produção (X^t)	81,614	150,105	5249,02		
Petróleo (ktep)	3.980	94.763	0		

Observa-se, na Tabela 3.1, que os setores (**S1**, **S2** e **S3**) são identificados nas colunas e nas linhas. A interpretação dos valores de um determinado setor, em sua coluna correspondente, diz respeito às despesas realizadas para tornar possível sua produção. A identificação das colunas é completada com o vetor **Y**, correspondendo à demanda final (formada pelo consumo das famílias, pelo consumo do governo, pelas exportações e pela formação bruta de capital), e com o vetor **X**, cujos elementos são iguais às receitas de cada um dos setores. Em sua linha correspondente, os valores de um determinado setor devem ser entendidos como suas receitas obtidas pelo fornecimento de insumos a outros setores ou por atender à demanda final. Finalizando a interpretação dos componentes da linha, tem-se o valor adicionado (**VA**), correspondendo à soma das importações¹³, da remuneração sobre os fatores primários de produção (trabalho e capital), dos impostos indiretos líquidos (impostos sobre o consumo, como o ICMS, por exemplo) e dos impostos e subsídios líquidos sobre a produção. Tem-se, ainda, a quantidade de energia primária (petróleo e gás natural) usada diretamente pelo setor do refino do petróleo e pela extração de petróleo e gás natural, expressa em ktep¹⁴.

A Tabela 3.1 pode ser vista como uma matriz de contabilidade dos setores econômicos. Por exemplo, ao examinar-se a coluna **S2** (setor de refino de petróleo e coque), observa-se que, em 2009, este setor usou R\$ 53,834 bilhões de insumos do setor **S1** (extração de petróleo e gás natural), R\$ 20,362 bilhões do setor **S2** (setor de refino de petróleo e coque) e R\$ 16,905 bilhões do setor **S3** (demais setores da economia).

¹³ Conceitualmente, a importação não corresponde ao valor adicionado, mas, para fins didáticos, ela está agregada ao valor adicionado nesta tabela.

¹⁴ 1 ktep diz respeito ao conteúdo energético equivalente a 1.000 toneladas equivalente de petróleo, igual a 41,87.10¹² J.

Completando-se as despesas realizadas pelo setor **S2**, tem-se o valor adicionado (R\$ 59,004bilhões). Então, o total das despesas realizadas pelo setor **S2**, em 2009, foi de R\$ 150,105 bilhões. Observa-se, também, que o setor utilizou 94.763 ktep de petróleo neste ano. A análise da linha ocupada pelo setor **S2** na Tabela 3.1 mostra que o setor **S1** consumiu R\$ 662 milhões de insumos do setor **S2** (ou que o setor **S2** forneceu R\$ 662 milhões em insumos para o consumo do setor **S1**), o setor **S2** consumiu R\$ 20,362 bilhões do setor **S2** e que o setor **S3** consumiu R\$ 87,668 bilhões do setor **S2**. Compreende-se, ainda, que o setor **S2** forneceu R\$ 41,413 bilhões para atender à demanda final (**Y**). Logo, os valores que constam na linha ocupada pelo setor **S2** são interpretados como as receitas deste setor em função das vendas realizadas para os outros setores produtivos (**S1** a **S3**) e para atender a demanda final (**Y**).

Ao somarem-se todas as receitas do setor **S2**, obtém-se o valor de R\$ 150,105 bilhões, justamente o valor das despesas (ou o valor da produção) do setor (identificado como despesas no vetor X^T e como receitas no vetor X). Na condição de equilíbrio econômico, para cada um dos setores produtivos, a soma de todas as receitas é igual à soma de todas as despesas.

Na Tabela 3.1, os valores (ou elementos) sombreados formam uma matriz, chamada de consumo intermediário, pois identificam as transações realizadas entre os setores produtivos; seus elementos são identificados por z_{ij} , sendo i a linha e j a coluna. Fixando-se, por exemplo, na coluna ocupada pelo setor **S2**, ao se dividir os R\$ 53,834 bilhões de insumos fornecidos pelo setor **S1** pelo valor da produção do setor **S2** (R\$ 150,105 bilhões), encontra-se o valor 0,35864, significando que para produzir R\$ 1,00, o setor **S2** consome R\$ 0,35864 de insumos fornecidos pelo setor **S1**.

O coeficiente técnico direto de produção do setor **S2** pelo setor **S1** é este valor encontrado de 0,35864, o qual é identificado por a_{12} ; então, a partir dos dados da Tabela 3.1, tem-se a seguinte relação para encontrar o coeficiente técnico a_{12} : $a_{12} = \frac{53,834}{150,105} = 0,35864$. De modo geral, o coeficiente técnico direto de produção a_{ij} , interpretado como os insumos fornecidos pelo setor i ao setor j para a produção de R\$ 1,00 do setor j , é definido por:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (1)$$

Na Tabela 3.1, pode-se calcular a matriz $A = [a_{ij}]$, a partir da equação (1), cujo resultado é apresentado a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} 0,032002 & 0,35864 & 0,001016 \\ 0,008117 & 0,135651 & 0,016702 \\ 0,501096 & 0,112621 & 0,388885 \end{bmatrix}$$

A hipótese de equilíbrio econômico em cada setor produtivo, como mencionado anteriormente, é dada pela igualdade entre suas receitas e seu valor de produção. Para o setor S_2 , por exemplo, esta condição pode ser escrita como:

$$z_{21} + z_{22} + z_{23} + Y_2 = X_2 \leftrightarrow \sum_{j=1}^3 z_{2j} + Y_2 = X_2$$

Tal condição pode ser escrita, e generalizada, para todos os setores, de tal modo que:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i = X_i \quad (2)$$

Para $1 \leq i \leq n$, sendo n o número de setores da economia.

A partir da equação (1), obtém-se:

$$z_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \quad (3)$$

que colocada na equação (2) torna-se:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot X_j + Y_i = X_i \quad (4)$$

O sistema de equações acima pode ser escrito na forma matricial como:

$$A \cdot X + Y = X \quad (5)$$

A equação matricial (5) pode ser resolvida para X (vetor com o valor da produção de cada um dos setores) em função de Y (vetor com o valor da demanda final de cada um dos setores), cujo resultado é:

$$X = (I - A)^{-1} \cdot Y \quad (6)$$

No qual I é a matriz identidade de ordem n.

A partir da equação (6), obtém-se o valor de cada um dos setores para atender à demanda final por um ou mais setores; entende-se que um setor usa insumo de outros setores para sua produção, e assim sucessivamente. Denomina-se efeito direto e indireto este procedimento em somar os insumos necessários de todos os setores para atender a demanda final.

Na Tabela 3.1, a partir da matriz A obtida, tem-se:

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,043757 & 0,434856 & 0,013621 \\ 0 & 1,172087 & 0,032077 \\ 0,86072 & 0,572569 & 1,653432 \end{bmatrix}$$

O valor de produção do setor de refino de petróleo (S2), em 2009, foi de R\$ 150,105 bilhões. Por outro lado, a partir dos dados do balanço consolidado do BEN (Balanço Energético Nacional) (EPE, 2011), estima-se que a produção do setor do refino de petróleo (S2) é de 93.212 ktep. A partir dos dados do BEN, como mostrado na Tabela 3.1, estima-se que o setor refino do petróleo utilizou 94.763 ktep de petróleo, para realizar sua produção no ano de 2009; portanto, é necessário 1,035 ktep do setor de petróleo para gerar 1 ktep do setor de refino.

Com o uso do modelo de insumo-produto será estimada a quantidade de petróleo necessária para produzir 1 ktep do setor de refino de petróleo, mas levando-se em consideração todos os efeitos diretos e indiretos da cadeia produtiva. Para tanto, será feito um choque na demanda final no setor de refino de petróleo, cujo valor monetário corresponde a 1 ktep; este valor é a razão entre o valor da produção do setor (R\$ 150,105 bilhões) e a quantidade produzida (93.212 ktep), resultando em R\$ 1,639 milhão/ktep.

O valor da produção de cada setor será dado pelo uso da equação (6), que neste caso torna-se:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} 1,043757 & 0,434856 & 0,013621 \\ 0 & 1,172087 & 0,032077 \\ 0,86072 & 0,572569 & 1,653432 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1,639 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,713 \\ 1,921 \\ 0,938 \end{bmatrix}$$

Então, para que sejam produzidos 1 ktep do setor de refino de petróleo, o valor da produção do setor extração de petróleo e gás natural (*S1*) é de R\$ 0,713 milhão, o valor da produção do setor de refino de petróleo (*S2*) é de R\$ 1,921 milhão e dos demais setores da economia (*S3*) é de R\$ 0,938 milhão.

O vetor ΔX é dado em R\$ milhão; para obter o consumo total de petróleo usado na economia para atender 1 ktep de refino de petróleo na demanda final, basta calcular os coeficientes de uso direto de petróleo pelos três setores apresentados na Tabela 3.1, os valores destes coeficientes são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Coeficientes diretos do uso de petróleo.

Setores	Uso direto de Petróleo (ktep)	Valor da Produção (X^t, em R\$ milhão)	Coeficiente de uso direto de petróleo (ktep/R\$mi)
Extração de Petróleo e Gás Natural (S1)	3980	81,614	0,049
Refino de Petróleo e Coque (S2)	94763	150,105	0,631
Demais setores da economia (S3)	0	5249,02	0,000

Multiplica-se cada elemento de ΔX (dado em R\$ milhão) por seus respectivos coeficientes do uso direto de petróleo; deste modo obtém-se:

$$\Delta X' = \begin{bmatrix} 0,713 \cdot 0,049 \\ 1,921 \cdot 0,631 \\ 0,938 \cdot 0,000 \end{bmatrix} \rightarrow \Delta X' = \begin{bmatrix} 0,035 \\ 1,213 \\ 0 \end{bmatrix}$$

O vetor $\Delta X'$ diz respeito ao uso de petróleo e gás natural em cada um dos três setores, considerando-se os efeitos diretos e indiretos de toda a cadeia produtiva, para atender a demanda final do setor do refino de petróleo em 1 ktep. A soma dos elementos do vetor $\Delta X'$ resulta em 1,248ktep; este resultado nos informa que, para atender aquela demanda final de 1 ktep do setor refino de petróleo, toda a economia irá consumir 1,248 ktep de petróleo.

Nota-se que tal resultado difere do estimado, diretamente, a partir do BEN, pois 1,035 ktep de petróleo, para a produção de 1 ktep do setor de refino, é relativo somente ao uso direto por este setor. Tal diferença é explicada, porque a análise de insumo-produto leva em consideração os efeitos diretos e indiretos de toda a cadeia produtiva.

3.1.2 O modelo híbrido

Apresenta-se, na Tabela 3.3, as transações agregadas em três setores, com dados relativos à economia brasileira do ano de 2009. Os setores seguem a mesma agregação do modelo monetário apresentado na seção anterior (seção 3.1.1); a diferença é que agora os setores *S1* e *S2* têm suas transações apresentadas em valores energéticos e o setor *S3* permanece em valores monetários.

Tabela 3.3 Transações para o modelo híbrido agregado em 3 setores.

<i>Brasil 2009</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>
S1	3.980	94.763	14.440	28.260	141.443
S2	0	4.946	88.266	0	93.212
S3	40,896	16,905	2.041,26	3.149,96	5.249,02
VA	37,44	59,00	3.114,76		
Valor da Produção (X^t)	141.443	93.212	5.249,02		

Os componentes da linha dos setores **S1** e **S2** estão em valores físicos, ou seja, valores de energia em ktep, encontrados a partir da matriz consolidada do BEN, enquanto os valores correspondentes à linha ocupada pelo setor **S3** estão em valores monetários (R\$ bilhão de 2009).

Na Tabela 3.3, com relação às colunas **S1** a **S3**, as duas primeiras linhas podem ser vistas como uma matriz do consumo energético dos setores econômicos. Por exemplo, ao examinar a coluna **S2** (setor de refino de petróleo e coque), observa-se que, em 2009, este setor usou 94.763 ktep de insumos do setor **S1** (extração de petróleo e gás natural), 4.946 ktep do setor **S2** (setor de refino de petróleo e coque); o valor 16,905 diz respeito ao consumo de R\$ 16,905 bilhões fornecido pelo setor **S3** (demais setores da economia).

Utilizou-se o mesmo procedimento de cálculo, do modelo didático monetário apresentado, na seção anterior, para o modelo didático híbrido. Assim, usando-se a equação (1) obtém-se a matriz dos coeficientes técnicos:

$$A = \begin{bmatrix} 0,028 & 1,017 & 0,003 \\ 0 & 0,053 & 0,010 \\ 0,289 & 0,181 & 0,389 \end{bmatrix}$$

Nota-se que esta matriz de coeficientes técnicos é da forma:

$$A = \begin{bmatrix} ktep/ktep & ktep/ktep & ktep/R\$ Mil \\ ktep/ktep & ktep/ktep & ktep/R\$ Mil \\ R\$ Mil/ktep & R\$ Mil/ktep & R\$ Mil/R\$ Mil \end{bmatrix}$$

Através da equação (5) obtêm-se a matriz de Leontief:

$$(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 1,036 & 1,117 & 0,024 \\ 0,005 & 1,065 & 0,018 \\ 0,492 & 0,845 & 1,653 \end{bmatrix}$$

Então, para atender 1 ktep de energia do setor de refino de petróleo, o valor da produção de cada setor será dado pelo uso da equação (5), que neste caso torna-se:

$$\Delta X = \begin{bmatrix} 1,036 & 1,117 & 0,024 \\ 0,005 & 1,065 & 0,018 \\ 0,492 & 0,845 & 1,653 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,12 \\ 1,07 \\ 0,84 \end{bmatrix}$$

Então, para que sejam produzidos 1 ktep de energia de refino de petróleo, o setor extração de petróleo e gás natural (*S1*) produz 1,12 ktep, a produção energética referente ao setor de refino de petróleo (*S2*) é de 1,07 ktep e o valor da produção dos demais setores da economia (*S3*) é de R\$ 0,84 milhão.

3.2 Nível de agregação dos modelos implementados (monetário e híbrido)

Uma das maiores dificuldades relacionadas aos estudos aplicados usando a análise de insumo-produto diz respeito ao processo de desagregação de setores que estão agregados a outros. Para esta pesquisa, houve a necessidade de realizar desagregações de setores e produtos na matriz de insumo-produto estimada de 2009.

O modelo monetário, usado como base para o modelo final implementado, contém 114 produtos e 63 setores; chega-se a este nível de agregação ao se realizar a desagregação dos 110 produtos e dos 56 setores das tabelas de recursos e usos do sistema de contas nacionais. As Tabelas 3.4 e 3.5 nos mostram, respectivamente, os produtos e os setores agregados e seus correspondentes desagregados.

Tabela 3.4 Produtos desagregados.

Produtos Agregados	Produtos desagregados
Petróleo e Gás Natural	1. Petróleo
Produtos da exploração florestal e da silvicultura	2. Produtos da Lenha
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	3. Geração de Eletricidade 4. Transmissão e Distribuição de Eletricidade

Tabela 3.5 Setores desagregados.

Setores Agregados	Setores Desagregados
Refino de Petróleo e coque	1. Produção de óleo diesel 2. Produção de gasolina Pura 3. Gasoálcool
Agricultura, Silvicultura e Exploração Florestal	4. Lenha 5. Canavieiro
Extração de Petróleo e Gás Natural	6. Petróleo
Outros da Indústria extrativa	7. Extração de Carvão mineral

O processo de desagregação setorial consiste de três etapas básicas: (i) identificar os principais produtos produzidos pelo setor e estimar os valores de suas produções, desagregando estes valores na matriz de produção, tanto em relação ao setor quanto em relação aos produtos a que estavam agregados originalmente; (ii) identificar e quantificar na matriz de uso quais os setores que usam os produtos desagregados como insumos e (iii) estimar na matriz de uso quais os principais insumos usados pelo setor desagregado. Todas estas estimativas são feitas, em geral, a partir de outras fontes de informações – tipicamente a partir da consulta à literatura especializada do setor desagregado.

Como exemplo principal do processo de desagregação efetuado nesta dissertação, são descritas as etapas principais para desagregar o setor do Refino do petróleo em Produção de óleo diesel, Produção de gasolina pura e Produção de gasoálcool. Com relação aos valores da produção dos respectivos produtos, todos se encontram disponíveis na matriz de produção do IBGE da Tabela de Recursos; do mesmo modo, estes produtos estão disponíveis na matriz de uso, sendo necessário “apenas” estimar os principais insumos usados para a produção de óleo diesel, gasolina pura e gasoálcool.

Naturalmente, o principal insumo para produção de óleo diesel e gasolina pura é o petróleo; para o gasoálcool, os insumos principais são a gasolina pura e o etanol anidro. As quantidades destes insumos foram estimadas a partir do Balanço Energético Consolidado relativo ao ano de 2009 (EPE, 2012). Os demais insumos para a produção de óleo diesel e gasolina pura foram obtidos assumindo-se as mesmas proporções em relação ao setor do refino de petróleo, mas subtraindo-se, evidentemente, os valores correspondentes ao insumo petróleo. Com relação ao gasoálcool, esta atividade consiste basicamente em misturar gasolina pura e etanol anidro; a diferença entre o valor da produção de gasoálcool com relação aos insumos gasolina pura e anidro foi assumida como a remuneração do capital (lucro) para sua produção.

Após a realização de todas as desagregações necessárias, obteve-se a matriz monetária; para chegar à matriz híbrida agregou-se a matriz monetária de maneira a obter uma matriz com os mesmos setores dispostos na matriz consolidada do Balanço Energético Nacional. Neste nível de agregação, obtém-se uma matriz monetária com 114 produtos e 25 setores; encontra-se no, ANEXO A, a correspondência setorial realizada para se obter 25 setores dos 67, até então presentes. A matriz híbrida é obtida

trocando-se os dados dos setores e produtos energéticos desagregados da matriz monetária com aqueles da matriz consolidada do Balanço Energético Nacional.

Com isto, obtêm-se duas matrizes agregadas em 114 produtos e 25 setores: uma monetária e outra híbrida; os cálculos de energia e emissões de GEE incorporados são feitos com as duas matrizes, cujos resultados são comparados e apresentados no Capítulo 4 em relação aos produtos gasolina pura (gasolina A) e óleo diesel. A razão de o trabalho ser feito com 114 produtos é devido ao uso de dados extraídos de Cunha (2011), que trabalhou de forma mais desagregada, com 73 setores e 120 produtos, de modo que os dados referentes às emissões estavam disponíveis para os 114 produtos presentes na matriz desta pesquisa.

3.3 Metodologia utilizada para avaliação da energia incorporada e das emissões de GEE

Os dois modelos (monetário e híbrido) usados neste trabalho estão na versão produto *versus* setor. Nesta seção apresenta-se o sistema de equações utilizado para se avaliar a energia e as emissões de GEE da gasolina pura e do óleo diesel mineral no Brasil.

A matriz de uso fornece dados a respeito do consumo setorial e do consumo da demanda final, em termos dos produtos, o que é identificada por U.

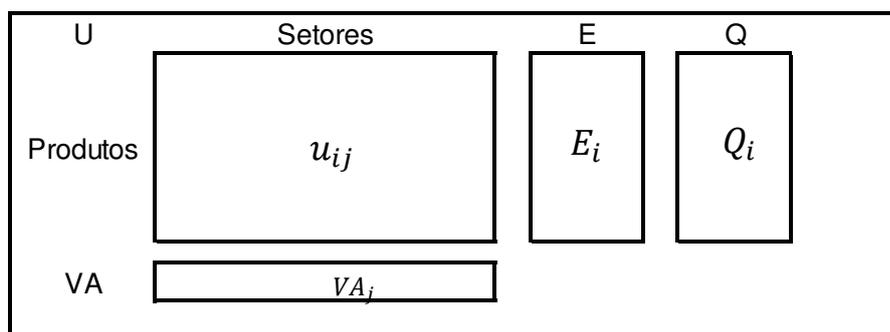


Figura 3.1 Estrutura da matriz de Uso.

Na Figura 3.1, U é a matriz de uso com elementos u_{ij} , E é o vetor referente à demanda final composto por elementos E_i , Q é o vetor da demanda total por produtos

formado por elementos Q_i e VA é o vetor linha do valor adicionado cujos elementos são VA_j .

Sendo m o número de produtos e n o número de setores da matriz de uso, i refere-se ao elemento que está na linha i e j refere-se ao elemento da coluna j ; seguem as equações utilizadas para o modelo apresentado na Figura 3.1.

$$Q_i = \sum_{j=1}^n u_{ij} + E_i \quad (7)$$

com $1 \leq i \leq m$ e $1 \leq j \leq n$.

Os elementos da matriz de coeficientes técnicos dos setores em relação aos produtos (matriz B cujos elementos são b_{ij}) são obtidos através da divisão de cada elemento da matriz de uso (u_{ij}) pelo respectivo valor da produção (x_j), de acordo com a expressão abaixo:

$$b_{ij} = \frac{u_{ij}}{x_j} \rightarrow u_{ij} = b_{ij} \cdot x_j \quad (8)$$

A matriz B tem a forma apresentada abaixo:

$$\begin{array}{c} \text{Pro} \\ \text{du} \\ \text{tos} \end{array} \begin{array}{c} \text{Setores} \\ \left[\begin{array}{ccc} \dots & & \\ \vdots & b_{ij} & \vdots \\ \dots & & \end{array} \right] \end{array}$$

Ao substituir a equação (8) na equação (7), tem-se:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \cdot x_j + E_i \quad (9)$$

A equação (9) pode ser expressa na forma matricial como:

$$Q = B \cdot X + E \quad (10)$$

A equação (10) diz que a demanda total por produtos é a soma da demanda final (vetor E) com o produto dos coeficientes técnicos (da matriz de uso) pela produção setorial. Na Figura 3.2 está ilustrada a estrutura da matriz de produção (matriz V).

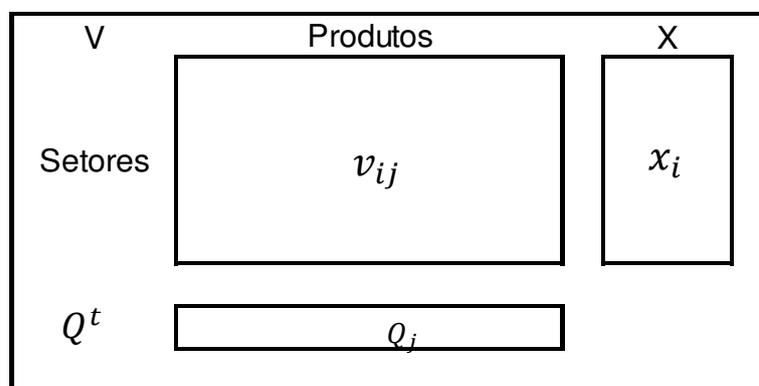


Figura 3.2 Estrutura da matriz de produção

Os elementos da matriz V (v_{ij}) dizem respeito à produção que o setor i faz do produto j. X é o vetor do valor da produção (com elementos x_i) e Q^T é o vetor transposto contendo a produção total dos produtos, cujo valor é igual à demanda total (com elementos Q_j).

A matriz de *Market Share*, chamada de matriz D, é a matriz cujos elementos informam a participação de cada setor na produção de cada produto. Seja d_{ij} um elemento da matriz de *Market Share* que ocupa a linha i (relativo ao setor i) e a coluna j (relativo ao produto j); este valor é interpretado como a participação que o setor i tem na produção do produto j. Por exemplo, se $d_{23} = 0,9$, isto quer dizer que o setor 2 produz 90% do produto 3. O valor de cada elemento da matriz D é dado por:

$$d_{ij} = \frac{v_{ij}}{Q_j} \quad (11)$$

A partir da equação (11) obtém-se:

$$v_{ij} = d_{ij} \cdot Q_j \quad (12)$$

Como a soma dos elementos da linha i (setor i) da matriz de produção V corresponde ao valor da produção do setor i (x_i), então, a partir da equação (12) conclui-se que:

$$X = D \cdot Q \quad (13)$$

Combinando-se as equações matriciais (10) e (13), obtém-se o sistema de equações matriciais abaixo:

$$\begin{cases} B \cdot X - Q = -E & (10) \\ X - D \cdot Q = \emptyset & (13) \end{cases}$$

O sistema de equações matriciais acima pode ser escrito através de uma única equação matricial:

$$\begin{bmatrix} B & -I_m \\ I_n & -D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E_{m \times 1} \\ \emptyset_{n \times 1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Na equação matricial (14), o vetor \emptyset de ordem $n \times 1$ diz respeito ao vetor nulo de ordem $n \times 1$, $-I_m$ é a matriz identidade negativa de ordem m e I_n é a matriz identidade de ordem n .

Na equação matricial (14), as variáveis exógenas dizem respeito à demanda final pelos produtos (vetor E). As variáveis endógenas correspondem ao valor da produção de cada setor (vetor X) e ao valor da produção de cada produto (vetor Q). Logo, resolvendo-se a equação matricial (14) para as variáveis X e Q , obtém-se a equação (15):

$$\begin{bmatrix} X_{n \times 1} \\ Q_{m \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B & -I_m \\ I_n & -D \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} -E \\ \emptyset \end{bmatrix} \quad (15)$$

Neste trabalho utilizou-se $m = 114$ produtos (dos quais 13 são energéticos primários e secundários) e $n = 25$ setores.

3.3.1 Coeficientes de emissões utilizados para avaliação das emissões de GEE

A estimativa dos coeficientes técnicos diretos das emissões de GEE foi realizada através da metodologia que se encontra em Cunha (2011), que são expressos em Gg CO₂ eq/R\$ milhão e foram obtidos a partir da Segunda Comunicação Nacional do Brasil (BRASIL, MCT, 2010) e das Tabelas de Recursos e Usos do IBGE. Em seu trabalho, Cunha (2011) apresenta estes coeficientes em relação ao ano de 2004. A hipótese assumida por este autor, e também neste trabalho, é a de que os coeficientes, em unidades físicas, não se alteraram de 2004 a 2009. Entretanto, para este estudo, houve a necessidade de estimar tais coeficientes (em Gg CO₂ eq/R\$ milhão) para o ano de 2009, ou seja, relativos aos preços de 2009; o procedimento metodológico foi baseado também no trabalho de Cunha (2011). Tal ajuste gerou o seguinte algoritmo:

$$C_n^p = C_k^p \prod_{i=2004}^{(n-1)} \frac{\text{preço}_i^p}{\text{preço}_{(i+1)}^p} \quad (16)$$

Em que, C_n^p diz respeito ao coeficiente de emissões do produto p no ano n que se quer estimar; i pertence ao seguinte intervalo $k \leq i \leq (n - 1)$; C_k^p é o coeficiente de emissões do produto p para o ano k ; preço_i^p é o preço do produto p no ano i e k é o ano cujo coeficiente de emissões é previamente conhecido. Através da equação (16) foi possível a construção da Tabela B.1, ANEXO B, que nos traz os coeficientes de emissões de cada produto relativos ao ano de 2009.

A respeito das emissões totais de GEE, seguiu-se o procedimento sugerido por Cunha (2011). A fim de se obter tais estimativas, o autor realizou um produto entre os impactos na produção de cada produto por seus respectivos coeficientes de emissões, expressos em Mg¹⁵ de CO₂ equivalente por milhão de reais produzido (Mg / R\$ milhão).

¹⁵1 Mg (mega grama) corresponde a 1 tonelada.

3.4 Fontes de dados utilizados para obtenção das matrizes híbrida e monetária

O ano base escolhido para a realização do estudo é o ano de 2009; a razão essencial para isto é porque, até a realização deste trabalho, este ano é o mais recente, em termos da disponibilidade de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), para a estimativa de uma matriz de insumo-produto em nível nacional. Como a análise de insumo-produto foi a metodologia escolhida para a realização desta pesquisa, a escolha do ano de 2009 fica justificada.

O modelo monetário foi construído a partir das tabelas de recursos e usos, encontradas no sistema de contas nacionais do IBGE e de acordo com a metodologia proposta por Guilhoto e Sesso (2010). A tabela de recursos fornece o que se conhece como matriz de produção, isto é, o que cada um dos setores produz dos produtos apresentados; a tabela de usos traz como informação mais importante os insumos usados em cada setor para que estes realizem sua produção, além dos componentes do valor adicionado. Originalmente, as informações encontradas no sistema de contas nacionais permitiram obter um modelo agregado em 110 produtos e 56 setores.

Neste nível de agregação, os produtos gasolina (gasolina A) e óleo diesel – os produtos de interesse desta pesquisa – encontram-se desagregados. Com o objetivo de melhorar a análise dos setores energéticos, foram feitas estimativas para desagregar os seguintes setores: gasolina pura, óleo diesel, lenha, carvão mineral, gás natural e geração e transmissão de eletricidade¹⁶. Obteve-se, nesta etapa do trabalho, a decomposição destes setores devido à intenção do trabalho em analisar o processo produtivo da gasolina pura e do óleo diesel minuciosamente; por isso, não se trabalhou com estas duas últimas atividades integradas ao refino de petróleo.

As desagregações foram realizadas com uso de informações específicas de cada uma das atividades em questão apoiadas em anuários de seus respectivos setores (por exemplo, para desagregar o carvão mineral, usou-se o Anuário Brasileiro do Carvão Mineral 2012) e complementadas com a investigação em dissertações e teses. Todo o trabalho de compatibilização dos setores desagregados foi realizado usando-se as

¹⁶ A desagregação do setor de geração e de transmissão de eletricidade foi feita a partir das informações da matriz de insumo-produto do ano de 2005 disponibilizada pelo Núcleo de Economia Industrial e da Tecnologia (NEIT) do Instituto de Economia da Unicamp.

tabelas de correspondências relativas à Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE).

As informações dos produtos e setores energéticos, incluindo as estimativas do consumo intermediário, foram largamente apoiadas nos dados do Balanço Energético Nacional (BEN), mais especificamente o Balanço Consolidado relativo ao ano de 2009. Esta fase do trabalho foi muito importante para o processo de desagregação no modelo monetário e essencial na estimativa do modelo híbrido de insumo-produto.

Os coeficientes do uso de energia setorial e das emissões de gases de efeito estufa, por produto, foram obtidos a partir das estimativas realizadas por Cunha (2011), sendo corrigidas a valores monetários de 2009.

Para buscar uma compatibilização entre os setores divulgados no Balanço Energético Nacional e os setores divulgados nas tabelas de recursos e usos do IBGE, decidiu-se agregar o modelo final em 25 setores e 114 produtos, que são apresentados nas Tabelas do Anexo C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos indicadores de energia e emissões de gases de efeito estufa incorporados na cadeia produtiva da gasolina pura e do óleo diesel mineral no Brasil. Na seção 4.1 são justificadas as desagregações realizadas no presente trabalho e, nas seções 4.2 e 4.3, são apresentados os resultados para os modelos monetário e híbrido, respectivamente.

4.1 Justificativas para as desagregações

O intuito em realizar a desagregação dos setores de produção de óleo diesel e produção de gasolina é devido a dois motivos: (i) consta na tabela, de usos do IBGE, que o setor do refino do petróleo usa o etanol como insumo para produzir gasoálcool; sendo assim, se a desagregação não fosse feita, um choque na demanda final, por qualquer produto do refino, usaria etanol como insumo, o que não é correto; (ii) outro motivo é que, a partir do BEN, observa-se que 3,5% da produção de gasolina (em base energética) vem das plantas de gás natural (usando o gás natural como principal fonte primária de energia), o que não ocorre com o óleo diesel.

No âmbito da desagregação setorial da matriz de insumo-produto, a partir das tabelas de recursos e usos do IBGE, os setores de produção de óleo diesel e produção de gasolina foram desagregados do setor refino do petróleo, no qual a correspondência com o BEN foi estabelecida com as refinarias de petróleo e as plantas de gás natural.

A partir dos dados da matriz consolidada do BEN, relativa ao ano de 2009, nota-se que 99,25% das fontes de energia primária processadas pelas refinarias (essencialmente petróleo) são convertidas em fontes de energia secundária; para as plantas de gás natural esta parcela é de 94,41%. Observa-se, ainda, que toda a produção de óleo diesel tem origem nas refinarias e, no caso da gasolina, 96,30% vem das refinarias e 3,70% das plantas de gás natural. Deste modo, admitiu-se que 99,25% da energia primária são processadas diretamente pelo setor óleo diesel e convertidas em

óleo diesel (ocorre uma perda de 0,75% da energia primária) e, no caso da gasolina, admitiu-se a média ponderada entre as refinarias e as plantas de gás natural, resultando no total de energia primária utilizada pelo setor gasolina de 99,07% (observou-se uma perda de 0,93% da energia primária utilizada na produção do produto gasolina).

4.2 Resultados do modelo monetário

4.2.1 Emissões de GEE para a gasolina

Para a estimativa das emissões de GEE, como também da energia, incorporadas na produção e na queima de 1 ktep de gasolina pura, através do modelo de insumo-produto monetário, realizou-se um choque na demanda final por este produto, correspondente à quantidade desejada.

Usaram-se informações sobre o valor da produção da gasolina a preço básico (presente na tabela de recursos do IBGE), de R\$ 20.739,00 milhões, e sobre a quantidade produzida em 2009 (presente no Balanço Energético Nacional), cujo valor foi 15.852 ktep. Em seguida, efetuou-se a divisão do valor da produção em R\$ milhão pela quantidade em ktep. Assim, estimou-se que 1 ktep deste produto tem o valor de R\$ 1,308 milhão, sendo este o valor do choque realizado no modelo.

O valor da produção de todos os setores da economia, incluindo todos os efeitos diretos e indiretos da cadeia produtiva, para atender à demanda de 1 ktep é de R\$ 2,624 milhões. Portanto, o valor relativo a uma determinada demanda final por gasolina representa 49,9% do valor da produção de todos os setores da economia envolvidos neste processo produtivo. É importante mencionar que o modelo monetário fornece, também, os valores da produção dos produtos para atender qualquer choque realizado na demanda final.

Os coeficientes de emissões de GEE, usados para os produtos da economia, foram obtidos a partir de Cunha (2011) e estimados para o ano de 2009. Verificou-se que as emissões de GEE relativas ao consumo (queima) e à produção de 1 ktep de gasolina, levando-se em consideração todos os efeitos diretos e indiretos da sua cadeia produtiva, foi de 3,163 GgCO₂eq (Giga Gramas de dióxido de carbono equivalente);

Cunha (2011) relata que, em 2004, as emissões para esta cadeia produtiva foi de 3,246 GgCO₂eq. Verificou-se que ocorreu uma pequena redução (4,3%) neste indicador, que pode ser decorrente de uma modesta alteração tecnológica ao longo da cadeia produtiva ou devido às alterações de preços entre 2004 e 2009, na economia brasileira.

Os resultados nos mostram que as emissões, somente da combustão de 1 ktep de gasolina, representam 93,8% das emissões totais, como apresentado na Tabela 4.1. Pode-se dizer também que as emissões totais de GEE, associadas à combustão da gasolina, são 6,6% maiores (1/0,938 – 1) em relação às emissões causadas somente por esta combustão.

A Tabela 4.1 mostra, também, o total das emissões diretas e das emissões indiretas, lembrando que as diretas dizem respeito àquelas da combustão direta de 1 ktep de gasolina (a quantidade relativa ao choque realizado) mais as emissões dos insumos diretos, usados em sua produção. Nota-se que as emissões diretas equivalem a 96,9% do total; portanto, as emissões indiretas associadas à gasolina correspondem a 3,1% do total.

Tabela 4.1 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE na cadeia produtiva de 1 ktep de gasolina.

	<i>GgCO₂eq</i>	Percentual
Combustão de 1 ktep de gasolina	2,965	93,8%
Efeito Direto	3,066	96,9%
Efeito Indireto	0,097	3,1%
Efeito total (direto + indireto)	3,163	100,0%

Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados das emissões em gCO₂eq por MJ de gasolina, na qual são mostrados os cinco produtos mais importantes ao longo de sua cadeia produtiva, neste aspecto. Constatou-se que o total de emissões é de 75,53 gCO₂eq para cada MJ de gasolina (este valor é simplesmente a conversão das emissões mencionadas na Tabela 4.1, que estão em GgCO₂eq por ktep de gasolina).

Tabela 4.2 Produtos que mais contribuem para emissões de GEE totais na cadeia produtiva da gasolina.

Produtos	<i>gCO₂eq / MJ</i>	Percentual
Gasolina	71,02	93,8%
Petróleo	2,32	3,2%
Óleo Diesel	0,97	1,2%
Cimento	0,45	0,6%
Óleo Combustível	0,12	0,2%
Demais Produtos	0,98	1,0%
Total	75,53	100,0%

Nota-se, na Tabela 4.2, que o produto gasolina é responsável por 93,8% do total de emissões de GEE de sua cadeia produtiva, dos quais 99,7% vem de modo direto. Observa-se ainda que, dos cinco produtos de energia primária (petróleo, gás natural, carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana) presentes no modelo monetário, o petróleo é o mais importante (ocupando o segundo lugar na Tabela 4.2), com 3,0% do total das emissões, sendo que deste percentual 97,7% é de efeito direto.

Dentre os oito produtos de energia secundária (óleo combustível, GLP, outros do refino, óleo diesel, gasolina, eletricidade gerada, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado), encontram-se na Tabela 4.2 três produtos: gasolina, já citada, óleo diesel - com 1,2% do total, dessa porcentagem, 97,0% está presente de modo indireto - e óleo combustível, que emite 0,2% do total, estão presentes nestas emissões de modo totalmente indireto; tais produtos são os mais expressivos em emissões por serem derivados de uma fonte não renovável (petróleo).

O cimento, um produto não energético, aparece como quarto produto mais importante em termos das emissões de GEE associado à gasolina, com 0,6% do total e, assim como o óleo combustível, está presente de modo indireto no total de emissões do processo produtivo da gasolina.

4.2.2 Emissões de GEE para o óleo diesel

A estimativa das emissões de GEE incorporadas na produção e no consumo de óleo diesel seguiu o mesmo procedimento realizado para a gasolina, de modo que se utilizou o modelo de insumo-produto monetário para realizá-la; o choque também foi feito na demanda final pelo produto correspondente a 1 ktep.

Estimou-se que 1 ktep do produto óleo diesel tem o valor, a preço básico, de R\$ 1,529 milhão, correspondendo ao valor do choque realizado no modelo. Para atender esta demanda final, o valor da produção de todos os setores econômicos (incluindo todos os efeitos diretos e indiretos da cadeia produtiva) é de R\$ 2,894 milhões; assim sendo, o valor relativo a uma determinada demanda final por óleo diesel representa 52,8% do valor da produção de todos os setores da economia para atendê-la.

Para o cálculo de emissões de GEE, usou-se o mesmo procedimento realizado para a gasolina. A estimativa das emissões de GEE relacionadas ao consumo (queima) e à produção de 1 ktep de óleo diesel levou em consideração todos os efeitos diretos e indiretos de sua cadeia produtiva, o que possibilitou chegar ao valor de 3,559 GgCO₂eq; ao comparar tal resultado com os obtidos para a gasolina (3,163 GgCO₂eq), verificou-se que o percentual de emissão de GEE do óleo diesel é de 12,5% maior que o da gasolina. Segundo Szklo e Uller (2008), a gasolina possui em sua composição hidrocarbonetos considerados mais leves do que os que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia carbônica (geralmente cadeias de 4 a 12 átomos de carbono). Devido a isso, a gasolina se torna menos poluente quando comparada ao óleo diesel.

Comparando tal resultado com o de Cunha (2011), que foi de 3,727 GgCO₂eq para o óleo diesel, verifica-se uma redução de 4,5% dos GEE emitidos em relação a 2004. Como no caso da gasolina, esta queda pode ser decorrente de uma alteração tecnológica ao longo da cadeia produtiva ou devido às alterações de preços entre 2004 e 2009 na economia brasileira.

As emissões somente da combustão de 1 ktep de óleo diesel representam 94,2% das emissões totais, como se observa na Tabela 4.3 as emissões totais de GEE relacionadas à combustão do óleo diesel são 6,1% maiores (1/0,942-1), em relação às emissões originadas somente por esta combustão.

Na Tabela 4.3 é apresentado, inclusive, o total de emissões diretas e das emissões indiretas, recordando que as emissões diretas se referem à combustão de 1 ktep de óleo diesel (quantidade relacionada ao choque realizado) somada com as emissões dos insumos diretos usados em sua produção. Repara-se, na Tabela 4.3, que as emissões diretas correspondem a 97,2% do total; então, as emissões indiretas vinculadas ao óleo diesel correspondem a 2,8% do total.

Tabela 4.3 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.

	<i>GgCO₂eq</i>	Percentual
Combustão de 1 ktep de óleo diesel	3,353	94,2%
Efeito Direto	3,459	97,2%
Efeito Indireto	0,100	2,8%
Efeito total (direto + indireto)	3,559	100,0%

Os resultados das emissões em gCO₂eq por MJ de óleo diesel são apresentados na Tabela 4.4, que também mostra os cinco produtos de maior importância ao longo de sua cadeia produtiva neste aspecto. Verificou-se que o total de emissões deste processo produtivo é de 85,01 gCO₂eq para cada MJ de óleo diesel.

Tabela 4.4 Produtos que mais contribuem para emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.

Produtos	gCO_2eq/MJ	Percentual
Óleo Diesel	80,84	94,2%
Petróleo	2,48	2,9%
Cimento	0,47	0,5%
Gasolina	0,18	0,2%
Óleo Combustível	0,13	0,1%
Demais Produtos	2,18	2,1%
Total	85,81	100,0%

A Tabela 4.4 mostra que os 94,2% do total de emissões de GEE, da cadeia produtiva do óleo diesel, são de responsabilidade do próprio produto, sendo que deste percentual 98,8% são de efeitos diretos. Nota-se ainda que, dos cinco produtos de energia primária (petróleo, gás natural, carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana) presentes no modelo monetário e no híbrido, o petróleo é o mais importante (ocupando, como no caso da gasolina, o segundo lugar na Tabela 4.2), com 2,9% do total das emissões, composto 97,9% de efeitos diretos; dos oito produtos de energia secundária (óleo combustível, GLP, outros do refino, óleo diesel, gasolina, eletricidade gerada, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado), encontram-se na Tabela 4.4 três produtos: óleo diesel, gasolina (com 0,2% do total, este percentual vem todo de modo indireto) e o óleo combustível, que emite 0,1% do total (assim como a gasolina, estas emissões são todas indiretas).

O cimento, assim como ocorreu com a gasolina, tem lugar de destaque, vindo a aparecer como terceiro produto mais importante em termos das emissões de GEE associado ao óleo diesel, com 0,5% do total; este fato ocorre devido ao processo produtivo de cozedura da argila e do calcário, que exige a queima de carvão e óleo diesel para alimentação de fornos. Segundo Lopes (2011), as usinas de cimento são responsáveis por 5% das emissões globais de gases de efeito estufa.

4.2.3 Energia incorporada da gasolina

O uso do modelo de insumo-produto permitiu verificar a quantidade de energia incorporada (direta e indiretamente) na oferta doméstica de 1 ktep de gasolina através do choque realizado na demanda final por este produto (assim como realizado para verificar a quantidade de emissões de GEE incorporada deste produto); o impacto no valor da produção de cada setor é multiplicado pelo respectivo coeficiente de uso direto de energia – estimado a partir do valor da produção de cada setor da economia em 2009 (contidos na tabela de recursos do IBGE) e pelo correspondente uso de energia a partir do BEN; de tal modo que a energia incorporada na demanda final por 1 ktep de gasolina é a soma da energia usada em cada atividade para atendê-la.

O total de energia incorporada na gasolina, de acordo com o modelo de insumo-produto monetário, é de 1,144 ktep; este valor é composto por 83,8% de origem doméstica e os 16,2% restantes de origem importada. Cunha (2011) obtém, em seu trabalho, o valor de 1,045 ktep de energia incorporada na gasolina; ao comparar com o resultado obtido, no presente estudo, verificou-se que a diferença é 9,5% maior que a encontrada em Cunha (2011).

Os setores de energia primária analisados são: petróleo, gás natural, geração de eletricidade (energia hidráulica), carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana. No presente estudo, não foi realizada a desagregação do setor de extração de energia hidráulica, pois não há possibilidade em desagregar este setor do ponto de vista econômico (a energia hidráulica é computada, sim, como a principal fonte de energia primária para a geração de eletricidade). É importante mencionar que, no cálculo da energia incorporada, não foram computadas as energias secundárias domésticas, pois em sua produção constam as energias primárias que já foram usadas para o seu processamento, evitando-se, assim, um processo de dupla contagem. A Tabela 4.5 mostra os setores mais importantes em termos da energia incorporada de origem doméstica (energia primária) para produzir 1 ktep de gasolina.

Tabela 4.5 Setores mais importantes no uso de energia doméstica para a produção de 1 ktep de gasolina.

Setores	Energia Doméstica (ktep)	Percentual
Gasolina	0,843	88,0%
Petróleo	0,072	7,5%
Geração de eletricidade (Energia Hidráulica)	0,013	1,4%
Óleo Diesel	0,010	1,1%
Gás Natural	0,009	0,9%
Demais setores	0,011	1,1%
Total	0,958	100,0%

No setor gasolina usa-se, principalmente, petróleo para a sua produção (dizendo respeito à energia primária para ser convertida em energia secundária, ou seja, a gasolina); no setor petróleo a quantidade está relacionada ao gás natural para extração de petróleo (reinjeção); no setor de geração de eletricidade o principal insumo é a energia hidráulica (também usada como fonte primária a ser convertida em energia secundária – a eletricidade).

Utiliza-se no setor óleo diesel, como principal fonte energética, o petróleo (novamente como insumo para produção de óleo diesel) e, no setor gás natural, assim como no setor petróleo, é utilizado o próprio gás natural como reinjeção.

A maior parte da energia doméstica fornecida pelo setor Petróleo (ou seja, o petróleo) está inserida no processo produtivo da gasolina de modo direto, devido ao fato do produto petróleo ser o principal insumo para a produção de gasolina; vale dizer que para o setor Gás natural, parte da energia, diz respeito ao efeito direto (pois uma parcela pequena da gasolina é obtida a partir do gás natural) e outra parte diz respeito ao efeito indireto, pois a extração de petróleo usa o gás natural como reinjeção. Os outros setores, expostos na Tabela 4.5, possuem efeito indireto na cadeia produtiva da gasolina; a Geração de eletricidade, por exemplo, corresponde à energia hidráulica que é necessária

para produzir energia elétrica que, por sua vez, é usada em todas as atividades envolvidas para atender a demanda final por 1 ktep de gasolina.

Os diversos setores da economia utilizam, também, energia primária ou secundária importadas. A Tabela 4.6 ilustra os setores mais significativos em termos do uso da energia importada.

Tabela 4.6 Setores mais importantes no uso de energia importada para a produção de 1 ktep de gasolina.

Setores	Energia Importada (ktep)	Percentual
Gasolina	0,1683	90,6%
Petróleo	0,0087	4,7%
Óleo Diesel	0,0020	1,1%
Gás Natural	0,0011	0,6%
Geração de eletricidade (Energia Hidráulica)	0,0003	0,2%
Demais setores	0,0054	2,8%
Total	0,1859	100,0%

Na Tabela 4.6, nota-se que 90,6% da energia importada (para a produção de 1 ktep de gasolina) é usada pelo setor Gasolina, cuja parte principal corresponde à importação de petróleo, que é usado como insumo direto para a produção de gasolina. Com relação ao setor de geração de eletricidade, a importação diz respeito à parcela da energia elétrica da usina de Itaipu que é importada do Paraguai¹⁷.

Quanto à energia não renovável e renovável, presente no total de energia incorporada (1,144 ktep) em cada 1 ktep de gasolina, através do modelo monetário de insumo-produto obteve-se que 98,7% são compostos por energia não renovável e 1,3% por energia renovável.

Como apresentado, mesmo se tratando de um combustível fóssil, a cadeia produtiva setorial da gasolina contém energia incorporada renovável, ainda que modesta comparada ao percentual de energia não renovável neste processo produtivo. A Tabela

¹⁷ A usina hidroelétrica de Itaipu é binacional; metade de sua geração é brasileira e, a outra metade, é paraguaia.

4.7 mostra os setores mais importantes em termos da energia renovável incorporada na gasolina.

Tabela 4.7 Setores mais importantes na energia renovável incorporada da gasolina.

Setores	Total de energia incorporada renovável (ktep)	Percentual
Geração de Eletricidade	0,011	75,7%
Destilarias	0,002	14,3%
Demais setores	0,001	10,1%
Total	0,015	100,0%

No Brasil, país que possui muitos rios com grandes desníveis, uma das soluções mais econômicas para se gerar energia elétrica é o aproveitamento da força das águas para girar turbinas, de modo que essa solução permitiu a construção de usinas hidrelétricas, segundo Viana (2010).

Além de a energia elétrica ser obtida predominantemente de forma renovável no Brasil, segundo Souza (2009), há a possibilidade em adquiri-la de outras formas, como através de energia termelétrica e energia nuclear. Em regiões brasileiras onde há poucos recursos hidrográficos, mas com acesso a fontes fósseis como óleo diesel, óleo combustível, carvão ou gás, as hélices das turbinas, que acionam os geradores para produzir energia elétrica, giram com a força do vapor resultante da queima desses combustíveis; para tanto são construídas usinas termelétricas (SOUZA, 2009).

A Tabela 4.8 apresenta as quantidades, em ktep, totais de energia incorporada direta e indiretamente associadas à demanda final de 1 ktep de gasolina.

Tabela 4.8 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de gasolina.

Total de Energia Incorporada em 1 ktep de gasolina		
Efeitos totais Diretos	1,096	95,8%
Efeitos totais Indiretos	0,048	4,2%
Efeito total (direto + indireto)	1,144	100,0%

Os efeitos indiretos, presentes na Tabela 4.8, vêm da energia renovável e não renovável presente no processo produtivo estudado; os setores que somam 72,1% do total dos efeitos indiretos são: geração de eletricidade (27,9%), óleo diesel (24,8%), gás natural (9,7%), gasolina (5,9%) e petróleo (3,8%).

A Tabela 4.8 mostra que os efeitos diretos são maiores do que 1 ktep; isto ocorre devido aos setores envolvidos de modo direto no processo produtivo da gasolina. Os setores mais significativos nesse aspecto são gasolina (92,0%), extração de petróleo (7,2%), extração de gás natural (0,5%) e resto do refino de petróleo (0,2%).

A Tabela 4.9 trata dos resultados a respeito do total de energia não renovável presente nesta cadeia produtiva, incorporados de maneira direta e indireta; sobre o total de energia renovável, a Tabela 4.10 expõe as quantidades e percentuais diretos e indiretos presentes neste processo produtivo.

Tabela 4.9 Energia não renovável incorporada em 1 ktep de gasolina.

Total de Energia Não Renovável Incorporada em 1 ktep de Gasolina		
Efeitos diretos na energia não renovável	1,086	97,1%
Efeitos indiretos na energia não renovável	0,033	2,9%
Total de efeitos de energia não renovável	1,119	100,0%

A energia não renovável está presente diretamente com mais de 1 ktep, como mostra a Tabela 4.9; este fato é devido ao principal insumo, envolvido neste processo produtivo, ser de fonte não renovável. Já os efeitos indiretos são decorrentes dos setores envolvidos indiretamente, que utilizam fontes renováveis e não renováveis; os mais expressivos são: óleo diesel (35,5%), refinarias de petróleo (16,9%), gás natural (14,0%), gasolina (8,4%) e geração de eletricidade (6,6%).

Tabela 4.10 Energia renovável incorporada em 1 ktep de gasolina.

Total de Energia Renovável Incorporada em 1 ktep de Gasolina		
Efeitos diretos na energia renovável	0,0001	0,6%
Efeitos indiretos na energia renovável	0,0146	99,4%
Total de efeitos de energia renovável	0,0147	100,0%

Na Tabela 4.10 nota-se que a quantidade de energia renovável, incorporada em 1 ktep de gasolina, é composta por 99,4% de efeitos indiretos, o que é de se esperar, já que a gasolina é um produto cujo insumo principal é de origem fóssil. Os principais setores envolvidos, de modo indireto, que compõem esta quantidade de energia renovável são: geração de eletricidade (75,7%), devido ao uso de energia elétrica pelos vários setores ao longo da cadeia produtiva da gasolina, e destilarias (14,3%), em função da presença de etanol anidro na gasolina C que é usada (em pequena quantidade) pelas atividades econômicas.

4.2.4 Energia incorporada do óleo diesel

O mesmo procedimento para verificar a quantidade de energia incorporada no processo produtivo associado a 1 ktep gasolina foi utilizado para obter o total de energia incorporada associado a 1 ktep de óleo diesel; com esta finalidade, foi realizado, no modelo, um choque na demanda final por 1 ktep (em valores monetários) deste produto.

Obteve-se o seguinte resultado: para atender a demanda final de 1 ktep de óleo diesel, sua cadeia produtiva setorial precisa de 1,143 ktep (incluindo 1 ktep da própria demanda final). Comparado tal valor com o obtido na gasolina (1,144 ktep), nota-se que a diferença entre os resultados é muito pequena; em relação aos resultados obtidos por Cunha (2011), as diferenças para o óleo diesel e a gasolina são, respectivamente, 10,2% e 9,5% maiores neste trabalho. As razões para isto podem ser (i) mudanças tecnológicas no setor do Refino de petróleo (o que deve ter um efeito menor considerando-se que não se espera uma mudança expressiva de tecnologia neste setor entre 2004 e 2009), (ii) alterações nos preços relativos entre 2004 e 2009 e (iii) o nível de desagregação setorial que foi maior no estudo feito por aquele autor.

Os percentuais energéticos obtidos nos informam que 98,6% do total da energia incorporada no óleo diesel correspondem à energia não renovável e 1,4% restante diz respeito à energia incorporada renovável. Do total da energia incorporada, 84,2% é de origem doméstica e os 15,8% restantes de origem importada.

No cálculo da energia incorporada com origem doméstica, assim como para a gasolina, não foram computadas as energias secundárias domésticas, de modo a evitar

um processo de dupla contagem. A Tabela 4.11 mostra os setores mais significativos em termos do uso de energia com origem doméstica (energia primária), considerando os efeitos diretos e indiretos, para atender a demanda final em 1 ktep de gasolina.

Tabela 4.11 Setores mais importantes no uso de energia doméstica para a produção de 1 ktep de óleo diesel.

Setores	Energia Doméstica (ktep)	Percentual
Óleo Diesel	0,856	88,9%
Petróleo	0,076	7,9%
Geração de eletricidade (Energia Hidráulica)	0,014	1,4%
Refinaria de Petróleo	0,006	0,6%
Gás Natural	0,004	0,5%
Demais setores	0,007	0,7%
Total	0,963	100,0%

O valor de 0,856 ktep relativo ao setor Óleo diesel consiste no petróleo que é usado por esta atividade para converter energia primária em secundária (o óleo diesel); no setor Petróleo o valor na Tabela 4.11 diz respeito ao gás natural usado na reinjeção; na atividade de Geração de eletricidade a energia usada predominantemente é a energia hidráulica; no setor Refinaria de petróleo é utilizado como principal fonte energética o petróleo e, no setor Gás natural, assim como no setor Petróleo, é utilizado o próprio gás natural na reinjeção.

Além da energia com origem doméstica, os diversos setores da economia usam energia primária ou secundária importadas. A Tabela 4.12 apresenta os setores mais importantes que contribuem com energia de origem importada.

Tabela 4.12 Setores mais importantes no uso de energia importada para a produção de 1 ktep de óleo diesel.

Setores	Energia Importada (ktep)	Percentual
Óleo Diesel	0,1641	91,1%
Petróleo	0,0092	5,1%
Refinarias de Petróleo	0,0013	0,7%
Gás Natural	0,0005	0,3%
Gasolina	0,0004	0,2%
Geração de eletricidade	0,0003	0,2%
Demais setores	0,0042	2,3%
Total	0,1802	100,0%

O setor mais importante no uso de energia importada (para a produção de 1 ktep de óleo diesel) é o setor Óleo diesel, com 91,1% do total, cujo conteúdo está relacionado ao petróleo importado usado como insumo (energia primária) para a produção de óleo diesel.

É interessante verificar que o óleo diesel, um combustível fóssil (como a gasolina), apresenta em sua cadeia produtiva, devido aos efeitos indiretos, setores cujas fontes energéticas são renováveis. A Tabela 4.13 mostra os setores mais importantes na cadeia produtiva setorial do óleo diesel em termos daqueles que requerem energia renovável.

Tabela 4.13 Setores mais importantes na energia renovável incorporada ao óleo diesel.

Setores	Total de energia incorporada renovável (ktep)	Percentual
Geração de Eletricidade	0,012	76,6%
Destilarias	0,002	13,4%
Demais setores	0,002	10,0%
Total	0,015	100,0%

Nota-se que os setores Geração de Eletricidade e Destilarias são os mais significativos, do mesmo modo como na análise para a gasolina; novamente, a explicação é devido ao uso de energia elétrica pelos vários setores ao longo da cadeia produtiva do óleo diesel, bem como da gasolina C, que contém etanol anidro em sua composição.

A Tabela 4.14 trata das quantidades de energia (ktep) diretas e indiretas envolvidas no processo de produção do óleo diesel associado a 1 ktep de seu consumo na demanda final. O produto em estudo é de origem fóssil, ou seja, um energético não renovável; a análise realizada apontou que há energia renovável incorporada na produção de óleo diesel, no entanto, é integrada de modo indireto, ou seja, setores que estão ligados de modo indireto ao processo produtivo.

Tabela 4.14 Efeitos diretos e indiretos da energia incorporada em 1ktep de óleo diesel.

Total de Energia Incorporada em 1 ktep de óleo diesel		
Efeitos totais Diretos	1,094	95,7%
Efeitos totais Indiretos	0,049	4,3%
Efeito total (direto + indireto)	1,143	100,0%

Através da Tabela 4.14 é possível verificar que, do total de energia incorporada na produção de óleo diesel, 95,7% é direta e 4,3% é indireta. Com relação à energia não renovável, a participação do efeito direto é mais preponderante, respondendo por 96,9% do total; logo, a parcela indireta, neste caso, representa somente 3,1% do total, como mostra a Tabela 4.14. Em relação à energia renovável, são incorporados 0,6% de modo direto e 99,4% de modo indireto, como se observa na Tabela 4.16.

Tabela 4.15 Energia não renovável incorporada em 1 ktep de óleo diesel.

Total de Energia Não Renovável Incorporada em 1 ktep de Óleo Diesel		
Efeitos diretos na energia não renovável	1,081	96,9%
Efeitos indiretos na energia não renovável	0,034	3,1%
Total de efeitos de energia não renovável (direto + indireto)	1,115	100,0%

Nota-se que os efeitos diretos contribuem com mais de 1 ktep de energia não renovável, pois o produto estudado (óleo diesel) tem como insumo principal o petróleo, que é uma fonte fóssil. Indiretamente os setores envolvidos mais importantes são Óleo diesel (36,0%), Refinarias de petróleo (17,3%) e Gás natural (14,3%), que atuam principalmente no transporte envolvido na cadeia produtiva dos insumos (óleo diesel usado no transporte rodoviário de cargas) e como fonte energética para produção de energia elétrica (óleo combustível e gás natural).

Tabela 4.16 Energia renovável incorporada em 1 ktep de óleo diesel.

Total de Energia Renovável Incorporada em 1 ktep de Óleo Diesel		
Efeitos diretos na energia renovável	0,0001	0,6%
Efeitos indiretos na energia renovável	0,0154	99,4%
Total de efeitos de energia renovável (direto + indireto)	0,0155	100,0%

A Tabela 4.16 mostra que 99,4% da energia renovável é incorporada, no processo produtivo do óleo diesel, de modo indireto. Os setores mais importantes que usam energia renovável, devido aos efeitos indiretos associados à produção de óleo diesel, são Geração de eletricidade (77,1%) e Destilarias (13,4%).

4.3 Resultados do modelo híbrido

No modelo híbrido, 12 produtos estão em unidades energéticas (ktep): petróleo, gás natural, carvão vapor, lenha, produtos energéticos da cana, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP), outros do refino, óleo diesel, gasolina, eletricidade gerada, álcool etílico (anidro e hidratado); os demais produtos estão em unidades monetárias (R\$ milhão).

A fim de calcular as emissões dos produtos envolvidos no processo produtivo dos combustíveis estudados, considera-se que os coeficientes de emissões para o modelo híbrido são os mesmos usados no modelo monetário. Estes coeficientes estão expressos em GgCO₂eq/R\$ milhão no modelo monetário, mas, como já mencionado, o modelo híbrido apresenta 12 produtos em unidades energéticas; assim, calculou-se o preço por ktep (R\$ milhão/ktep) de cada um destes produtos e, multiplicando-se estes preços pelos coeficientes em GgCO₂eq/R\$ milhão, obtém-se os coeficientes para os

produtos energéticos em GgCO₂eq/ktep. Os demais produtos (não energéticos) presentes no modelo foram mantidos em GgCO₂eq por R\$ milhão.

Na matriz consolidada considerou-se, para o setor Outros do refino de petróleo, que sua produção corresponde à soma dos valores da produção dos seguintes produtos: nafta, querosene, outras secundárias do petróleo e produtos não energéticos do petróleo. A Tabela 4.17 mostra os preços obtidos para os 12 produtos com unidades físicas no modelo híbrido.

Tabela 4.17 Preço básico por ktep de produtos energéticos

Produtos	Produção		Preço por ktep
	R\$ milhão	ktep	R\$ milhão / ktep
Petróleo	72.222,25	101.033,00	0,715
Gás Natural	8.922,75	20.987,00	0,425
Carvão Vapor	907,00	2.239,00	0,405
Lenha	1.975,00	24.609,00	0,080
Produtos Energéticos da Cana	21.098,00	45.252,00	0,466
Óleo Combustível	11.760,00	13.380,00	0,879
GLP	4.956,00	5.910,00	0,839
Outros do refino	22.812,00	21.051,00	1,084
Óleo Diesel	55.032,00	35.655,00	1,543
Gasolina	21.456,00	16.697,00	1,285
Eletricidade gerada	32.513,15	39.816,00	0,817
Álcool Etílico Anidro e Hidratado	24.615,00	13.481,00	1,826

Os totais de emissões, considerando-se os efeitos diretos e indiretos, são obtidos através da multiplicação dos coeficientes de emissões pelos respectivos impactos na produção de cada produto no modelo. As emissões diretas são dadas pela queima direta de 1 ktep de combustível adicionada com demais produtos envolvidos diretamente no processo produtivo; as emissões indiretas são obtidas subtraindo-se as emissões diretas do total de emissões.

4.3.1 Emissões de GEE para a gasolina

Aplicando-se a metodologia descrita, verificou-se que as emissões de GEE relativas ao consumo (queima) e à produção de 1 ktep de gasolina, levando-se em consideração todos os efeitos diretos e indiretos da sua cadeia produtiva, é de 3,212 GgCO₂eq.

As emissões somente da combustão de 1 ktep de gasolina representam 90,8% das emissões totais, como mostrado na Tabela 4.18. Pode-se dizer, também, que as emissões totais de GEE, associadas à combustão da gasolina, são 10,1% maiores (1/0,908 – 1) em relação às emissões causadas somente por esta combustão.

A Tabela 4.18 apresenta, também, o total das emissões diretas e das emissões indiretas, lembrando-se que as diretas dizem respeito àquelas da combustão direta de 1 ktep de gasolina (a quantidade relativa ao choque realizado) mais as emissões dos insumos diretos usados em sua produção. Nota-se que as emissões diretas equivalem a 95,6% do total; portanto, as emissões indiretas associadas à gasolina correspondem a 4,4% do total.

Tabela 4.18 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE em 1ktep de gasolina.

	<i>GgCO₂eq</i>	Percentual
Combustão de 1 ktep de gasolina	2,916	90,8%
Efeito Direto	3,069	95,6%
Efeito Indireto	0,143	4,4%
Efeito total (direto + indireto)	3,212	100,0%

Na Tabela 4.19 são apresentados os resultados das emissões em gCO₂eq por MJ de gasolina, em que são mostrados os cinco produtos mais importantes ao longo de sua cadeia produtiva neste aspecto. Constatou-se que o total de emissões é de 75,32 gCO₂eq para cada MJ de gasolina (este valor é simplesmente a conversão das emissões

mencionadas na Tabela 4.18, que estão em GgCO₂eq por ktep de gasolina); ao comparar tal resultado com o obtido pelo modelo monetário, verifica-se que o obtido pelo modelo híbrido é apenas 0,3% inferior. Realizou-se uma comparação entre as Tabelas 4.19 e 4.2 referentes, respectivamente, aos resultados do modelo híbrido e monetário para as emissões de GEE da gasolina; verificou-se que as emissões nos principais produtos são muito próximas, por exemplo, para os produtos gasolina e petróleo, os resultados obtidos no modelo híbrido são, respectivamente, 2,0% e 3,2% menores.

Tabela 4.19 Produtos que mais contribuem para as emissões de GEE na cadeia produtiva da gasolina.

Produtos	<i>gCO₂eq / MJ</i>	Percentual
Gasolina	69,63	92,5%
Petróleo	2,24	3,0%
Óleo Diesel	1,05	1,4%
Óleo Combustível	0,95	1,3%
Cimento	0,45	0,6%
Demais produtos	0,99	1,3%
Total	75,32	100,0%

Nota-se, na Tabela 4.19, que o produto gasolina é responsável por 92,5% do total de emissões de GEE de sua cadeia produtiva. Observa-se ainda que, dos cinco produtos de energia primária (petróleo, gás natural, carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana), presentes no modelo monetário e também no híbrido, o petróleo é o mais importante (ocupando o segundo lugar na Tabela 4.19), com 3,0% do total das emissões; dos oito produtos de energia secundária (óleo combustível, GLP, outros do refino, óleo diesel, gasolina, eletricidade gerada, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado), encontram-se na Tabela 4.19 três produtos: gasolina, já citada, óleo diesel (com 1,4% do total) e óleo combustível (que emite 1,3% do total). Os produtos

energéticos apresentados na Tabela 4.19 são expressivos em termos das emissões porque têm origem fóssil.

O cimento¹⁸, produto não energético, aparece como quinto produto mais importante, em termos das emissões de GEE associado à gasolina, com 0,6% do total.

4.3.2 Emissões de GEE para o óleo diesel

A estimativa das emissões de GEE foi feita com o mesmo procedimento usado na gasolina, com a diferença que o choque na demanda final foi feito em 1 ktep para o produto óleo diesel. O resultado obtido, incluindo todos os efeitos diretos e indiretos, foi de 3,639 GgCO₂eq; as emissões unicamente da combustão de 1 ktep de óleo diesel representam 93,0% das emissões totais, como se observa na Tabela 4.20. As emissões totais de GEE relacionadas à combustão do óleo diesel são 7,53% maiores (1/ 0,930-1) em relação às emissões originadas somente por esta combustão.

Na Tabela 4.20 é apresentado, inclusive, o total de emissões diretas e das emissões indiretas; observa-se que as emissões diretas correspondem a 97,1% do total e as emissões indiretas a 2,9% do total.

Tabela 4.20 Efeitos diretos e indiretos de emissões de GEE em 1ktep de óleo diesel.

	<i>GgCO₂eq</i>	Percentual
Combustão de 1 ktep de óleo diesel	3,385	93,0%
Efeito Direto	3,532	97,1%
Efeito Indireto	0,107	2,9%
Efeito total (direto + indireto)	3,639	100,0%

¹⁸ As emissões de GEE associadas ao cimento ocorrem devido à descarbonatação de carbonatos (CO₃) em óxidos e dióxidos de carbono que ocorre em seu processo produtivo.

Os resultados das emissões em gCO₂eq por MJ de óleo diesel são apresentados na Tabela 4.21, que também mostra os cinco produtos de maior importância ao longo de sua cadeia produtiva neste aspecto. Verificou-se que o total de emissões é de 86,91 gCO₂eq para cada MJ de óleo diesel.

Tabela 4.21 Produtos que contribuem para emissões de GEE na cadeia produtiva do óleo diesel.

Produtos	<i>gCO₂eq/MJ</i>	Percentual
Óleo Diesel	81,96	94,3%
Petróleo	2,36	2,7%
Óleo Combustível	1,00	1,1%
Cimento	0,47	0,5%
Gasolina	0,07	0,1%
Demais produtos	1,05	1,2%
Total	86,91	100,0%

A Tabela 4.21 mostra que 94,3% do total de emissões de GEE da cadeia produtiva do óleo diesel são de responsabilidade do próprio produto. Nota-se ainda que, dos cinco produtos de energia primária (petróleo, gás natural, carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana) presentes no modelo monetário e no híbrido, o petróleo é o mais importante (ocupando, como no caso da gasolina, o segundo lugar na Tabela 4.21), com 2,7% do total das emissões; dos oito produtos de energia secundária (óleo combustível, GLP, outros do refino, óleo diesel, gasolina, eletricidade gerada, álcool etílico anidro e álcool etílico hidratado), na Tabela 4.21 encontram-se dois produtos: óleo diesel, já citado, óleo combustível (com 1,1% do total) e gasolina (com 0,1%).

O cimento, assim como ocorreu com a gasolina, tem lugar de destaque, aparecendo como quarto produto mais importante em termos das emissões de GEE associado ao óleo diesel, com 0,5% do total de emissões relacionadas na Tabela 4.21,

devido ao seu processo produtivo (como descrito na seção anterior relativa aos resultados de emissões para a gasolina).

4.3.3 Energia incorporada da gasolina

No modelo híbrido de insumo-produto não há necessidade de realizar estimativas para obter o preço de 1 ktep de energia, pois o choque é realizado nos produtos energéticos em unidades físicas – em ktep, no caso do modelo construído. Deste modo, o choque realizado na demanda final para atender 1 ktep de gasolina mostrou que o total de energia incorporada é de 1,201 ktep; deste total, 76,9% é composto por energia de origem doméstica e os 23,1% restantes de origem importada. A energia doméstica analisada é composta pelos setores que extraem e ofertam energia primária: petróleo, gás natural, geração de eletricidade (energia hidráulica), carvão vapor, lenha e produtos energéticos da cana. Como no modelo monetário, não foi realizada a desagregação do setor de extração de energia hidráulica, dada a impossibilidade de fazê-la do ponto de vista econômico (a energia hidráulica é computada, sim, como fonte de energia primária para a geração de eletricidade). A Tabela 4.22 mostra estes seis setores energéticos primários que compõem o total de energia incorporada doméstica. No cálculo da energia incorporada doméstica, assim como no modelo monetário, não foram computadas as energias secundárias domésticas, pois em sua produção constam as energias primárias que já foram consideradas e apresentadas na Tabela 4.22, evitando, assim, um processo de dupla contagem.

Tabela 4.22 Energia doméstica primária incorporada em 1 ktep de gasolina.

Setores	Energia Doméstica (ktep)	Percentual
Petróleo	0,763	82,7%
Gás Natural	0,131	14,2%
Geração de eletricidade (Energia Hidráulica)	0,022	2,4%
Demais setores	0,007	0,7%
Total	0,923	100,0%

Os principais setores (e, no caso do modelo híbrido, também produtos) que contribuem para a formação da energia doméstica incorporada no produto gasolina são petróleo e gás natural, como mostra a Tabela 4.22, pois são os setores que fornecem a energia primária que será transformada na energia secundária – a gasolina.

Ao realizar a comparação do total de energia doméstica entre a Tabela 4.22 (modelo híbrido) e a Tabela 4.5 (modelo monetário), verifica-se que o total de energia doméstica, obtido pelo modelo monetário, é 3,8% maior que os apresentados pelo modelo híbrido, ou seja, os resultados são muito próximos.

É importante destacar que há uma diferença de interpretação nos resultados das duas tabelas. A Tabela 4.5 (modelo monetário) apresenta a quantidade de energia doméstica (energia primária) utilizada pelos setores econômicos a fim de atender a demanda final por 1 ktep de gasolina; já a Tabela 4.22 (modelo híbrido) apresenta, para cada setor, as suas respectivas produções de energia primária doméstica para atender a mesma demanda. Como exemplo, na Tabela 4.22, a quantidade 0,763 ktep corresponde à produção (extração) e oferta doméstica do produto petróleo pelo setor petróleo. Ainda nesta tabela, a soma dos valores apresentados para os setores petróleo e gás natural (0,894 ktep) diz respeito, basicamente, à quantidade de energia primária de origem doméstica para atender a demanda final por 1 ktep de gasolina, sempre considerando os efeitos diretos e indiretos de sua cadeia produtiva. Na Tabela 4.5 (modelo monetário), esta energia primária doméstica consta no setor Gasolina, cujo valor é 0,843 ktep.

A diferença na forma de interpretar as Tabelas 4.5 e 4.22 é devido à forma construtiva de cada modelo. Assim, o valor de 0,843 ktep apresentado na Tabela 4.5 está relacionado com os valores do setor Petróleo e do setor Gás Natural (0,763 ktep e 0,131 ktep, respectivamente) que aparecem na Tabela 4.22.

Além da energia doméstica, os diversos setores da economia podem utilizar energia primária ou secundária importadas. Vale chamar a atenção que a principal energia importada para processamento nas refinarias no Brasil é o petróleo; o país tem necessidade de importar esta fonte primária devido à qualidade do seu petróleo extraído nacionalmente. Segundo Szklo e Uller (2008), o petróleo extraído no Brasil é “pesado”; seu grau API¹⁹ é menor que 22° e é composto por hidrocarbonetos aromáticos, o que dificulta o fracionamento de todos seus derivados. Por isso há a necessidade de o petróleo doméstico ser misturado com petróleos importados mais leves, constituídos basicamente por alcanos e uma porcentagem de 15% a 25% de cicloalcanos (o petróleo leve possui grau API maior que 30).

A Tabela 4.23 apresenta os setores que mais contribuem com a energia importada para cada ktep de gasolina na demanda final.

Tabela 4.23 Energia importada incorporada em 1 ktep de gasolina.

Setores	Energia Importada (ktep)	Percentual
Gasolina	0,238	85,7%
Geração de eletricidade	0,021	7,6%
Refinarias de Petróleo	0,012	4,2%
Óleo Diesel	0,003	1,1%
Demais setores	0,004	1,4%
Total	0,278	100,0%

¹⁹ O grau API é uma escala hidrométrica criada pelo American Petroleum Institute (API); ela é usada para medir a densidade relativa de óleos e derivados, inclusive do petróleo.

Ao comparar os resultados da Tabela 4.23 (modelo híbrido) com os da Tabela 4.6, referentes ao modelo monetário, verifica-se que a energia incorporada de origem importada é 49,5% maior no modelo híbrido, sendo este um dos motivos que explica porque a energia total incorporada no modelo híbrido (1,201 ktep) é maior que no modelo monetário (1,144 ktep). A razão principal para isto é que o resultado relativo à energia primária importada diretamente pelo setor gasolina é maior no modelo híbrido, pois os coeficientes relativos à importação de energia obtidos no modelo híbrido foram maiores do que no monetário.

4.3.3.1 Energia incorporada direta e indiretamente na demanda de 1 ktep de gasolina

Usou-se o modelo híbrido para quantificar a energia incorporada direta e indiretamente no consumo de 1 ktep de gasolina, através do choque realizado na demanda final por este produto (assim como realizado no modelo monetário).

A soma dos impactos no consumo de energia em toda a cadeia produtiva, para atender a demanda final por 1 ktep de gasolina, foi de 1,201 ktep, que diz respeito à energia incorporada. Este resultado é 5,0% maior do que aquele obtido com o modelo monetário (1,144 ktep), sendo, portanto, valores próximos.

Para atender à demanda final em 1 ktep de gasolina, de acordo com o modelo híbrido, 89,1%, do total de energia incorporada corresponde à energia envolvida de modo direto no processo produtivo e 10,9% restante diz respeito à energia incorporada de modo indireto. A Tabela 4.24 apresenta as quantidades, em ktep, totais de energia incorporada direta e indiretamente associados ao consumo de 1 ktep de gasolina.

Tabela 4.24 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de gasolina – modelo híbrido.

Total de Energia Incorporada em 1 ktep de gasolina		
Efeitos totais Diretos	1,071	89,1%
Efeitos totais Indiretos	0,131	10,9%
Efeito total (direto + indireto)	1,201	100,0%

Ao comparar os resultados presentes na Tabela 4.24 com os obtidos no modelo monetário (Tabela 4.8), verificou-se que os efeitos diretos no modelo híbrido são apenas 2,3% inferiores; com relação aos efeitos indiretos, esta diferença é expressiva, sendo 172,9% maior. Portanto, a principal razão para que a energia incorporada obtida pelo modelo híbrido fosse maior que a obtida pelo modelo monetário (apenas 5,0%) é explicada pelos efeitos indiretos. No modelo híbrido os efeitos indiretos são maiores, principalmente em decorrência dos setores de energia domésticos petróleo e gás natural (eles são responsáveis por 81,9% do efeito indireto); este resultado é fruto do maior impacto dos efeitos indiretos quando se mensuram as transações entre os setores energéticos em unidades híbridas, reduzindo, assim, as distorções causadas pelo modelo monetário que, devido a sua concepção, resulta no mesmo preço “pago” em cada setor da economia pelo uso de uma mesma fonte de energia.

Com relação às participações da energia não renovável e renovável, os resultados obtidos com o modelo híbrido indicam que, de toda a energia incorporada na gasolina, 97,2% é composta por energia não renovável e 2,8% por energia renovável. A Tabela 4.25 apresenta as participações dos efeitos direto e indireto com relação à energia não renovável e, na Tabela 4.26, são mostradas as mesmas participações com relação à energia renovável.

Tabela 4.25 Energia não renovável incorporada em 1 ktep de gasolina, segundo modelo híbrido.

Total de Energia Não Renovável Incorporada em 1 ktep de Gasolina		
Efeitos diretos na energia Não Renovável	1,052	90,1%
Efeitos indiretos na energia Não Renovável	0,116	9,9%
Total de Energia Não Renovável (direto + indireto)	1,168	100,0%

Os resultados obtidos para energia não renovável na Tabela 4.25, ao serem comparados com os da Tabela 4.9 (modelo monetário), são, no total, apenas 4,4% maiores. Este pequeno aumento é explicado, principalmente, pelos efeitos indiretos, que são 151,5% maiores no modelo híbrido – as razões para isto, novamente, decorrem do maior encadeamento entre os setores energéticos quando as transações são apontadas em unidades físicas, cujas estimativas foram feitas a partir dos dados do Balanço Energético Nacional.

Tabela 4.26 Energia renovável incorporada em 1ktep de gasolina – modelo híbrido.

Total de Energia Renovável Incorporada em 1 ktep de Gasolina		
Efeitos diretos na energia Renovável	0,019	55,7%
Efeitos indiretos na energia Renovável	0,015	44,3%
Total de Energia Renovável (direto + indireto)	0,034	100,0%

Ao comparar a Tabela 4.26 (modelo híbrido) com a Tabela 4.10 (modelo monetário) percebe-se que o total de energia renovável incorporada pelo modelo híbrido é 131,3% maior; embora a diferença em termos relativos seja elevada, em valores absolutos (0,0193 ktep) ela é pouco expressiva quando comparada com a energia total incorporada (1,144 ktep no modelo monetário e 1,201 ktep no híbrido). A razão para esta diferença está contida principalmente nos efeitos diretos para a energia renovável, onde no modelo híbrido, as transações em unidades físicas para a eletricidade (principalmente a partir da energia hidráulica) é distinta daquela no modelo monetário.

4.3.4 Energia incorporada do óleo diesel

O choque realizado na demanda final por óleo diesel seguiu o mesmo procedimento realizado para a gasolina. Para atender à demanda final por 1 ktep de óleo diesel, toda a cadeia produtiva associada à sua produção requer 1,202 ktep de energia, o que inclui o uso de diversas fontes de energia, como é descrito a seguir. Deste valor, 77,5% diz respeito ao uso de energia doméstica e 22,5% de energia importada. A Tabela 4.27 expõe os setores que contribuem para a energia doméstica (energia primária)

requerida para o processo de produção de 1 ktep de óleo diesel a ser consumido na demanda final.

Tabela 4.27 Energia doméstica primária incorporada em 1 ktep de óleo diesel.

Setores	Energia Doméstica (ktep)	Percentual
Petróleo	0,804	86,4%
Gás Natural	0,096	10,4%
Geração de eletricidade (Energia Hidráulica)	0,023	2,5%
Demais setores da economia	0,007	0,8%
Total	0,931	100,0%

Na Tabela 4.27, nota-se que os setores domésticos relacionados à energia primária, que mais contribuem para a energia incorporada da gasolina são: Petróleo, Gás Natural e Geração de Eletricidade (usando energia hidráulica como fonte de energia primária), sendo responsáveis por 99,3% do total. Como no caso da análise feita para a gasolina (seção 4.3.3), os valores para o setor Petróleo e o setor Gás Natural correspondem, praticamente, à energia primária doméstica a ser transformada em 1 ktep de óleo diesel.

A energia total incorporada de origem doméstica (energia primária), avaliada pelo modelo monetário, é apenas 3,4% superior àquela obtida pelo modelo híbrido; esta comparação pode ser feita observando-se os resultados apresentados na Tabela 4.11 (modelo monetário) com a Tabela 4.27 (modelo híbrido).

Do mesmo modo, como analisado para a gasolina (seção 4.3.3), os resultados da Tabela 4.27 dizem respeito à produção e oferta de energia primária pelos respectivos setores, enquanto na Tabela 4.11, seus valores são relativos ao consumo de energia por aqueles setores. Assim, na Tabela 4.27, a quantidade 0,804 ktep é relativa, quase que inteiramente, à energia primária doméstica (petróleo) para atender à demanda final por 1 ktep de óleo diesel; o valor correspondente na Tabela 4.11 é 0,856, ou seja, a energia primária de origem doméstica (petróleo) utilizada para atender a mesma demanda final.

A Tabela 4.28 exibe os setores mais importantes em termos do uso de energia importada (energia primária e secundária) incorporada em 1 ktep de óleo diesel na demanda final.

Tabela 4.28 Energia Importada incorporada em 1 ktep de óleo diesel.

Setores	Energia Importada (ktep)	Percentual
Óleo Diesel	0,2315	85,6%
Geração de eletricidade	0,0222	8,2%
Refinarias de Petróleo	0,0123	4,6%
Gasolina	0,0002	0,1%
Demais setores	0,0042	1,6%
Total	0,2705	100,0%

Ao comparar os resultados da Tabela 4.28 (modelo híbrido) com os da Tabela 4.12, referentes ao modelo monetário, verifica-se que a energia incorporada de origem importada é 50,1% maior no modelo híbrido, sendo este um dos motivos que explicam porque a energia total incorporada no modelo híbrido (1,202 ktep) é maior que no modelo monetário (1,143 ktep). A razão principal para isto, como ocorrido e explicado na análise para a gasolina (seção 4.3.3), é que o resultado relativo à energia primária importada diretamente pelo setor óleo diesel é maior no modelo híbrido, uma vez que os coeficientes de importação de energia obtidos no modelo híbrido foram maiores do que no monetário.

4.3.4.1 Energia incorporada direta e indiretamente na demanda de 1ktep óleo diesel

Nesta seção são apresentados os resultados quanto às parcelas da energia incorporada em 1 ktep de óleo diesel, provenientes do efeito direto e do efeito indireto, avaliadas através do modelo híbrido, do mesmo modo como para a gasolina (seção 4.3.3.1).

A soma dos impactos no consumo de energia em toda a cadeia produtiva para atender à demanda final por 1 ktep de óleo diesel foi de 1,202 ktep, que diz respeito a sua energia incorporada. Este resultado é 5,2% maior do que aquele obtido com o modelo monetário (1,143 ktep), sendo, portanto, valores muito próximos, do mesmo modo como ocorreu para os resultados obtidos para a gasolina.

A Tabela 4.29 apresenta as quantidades das parcelas de energia direta e indireta incorporadas em 1 ktep de óleo diesel. Observa-se que os efeitos diretos são responsáveis por 88,6% do total e o restante (11,4%), corresponde à influência dos efeitos indiretos.

Tabela 4.29 Efeitos diretos e indiretos de energia incorporada em 1ktep de óleo diesel – modelo híbrido.

Total de Energia Incorporada em 1 ktep de Óleo diesel		
Efeitos diretos	1,065	88,6%
Efeitos indiretos	0,137	11,4%
Efeito total (direto + indireto)	1,202	100,0%

Ao comparar os resultados presentes na Tabela 4.29 com os obtidos no modelo monetário (Tabela 4.14), observa-se que os efeitos diretos no modelo híbrido são apenas 2,7% inferiores; com relação aos efeitos indiretos, esta diferença é expressiva, sendo 179,6% maior; estas comparações são muito próximas daquelas observadas na análise correspondente feita para a gasolina. Também no caso do óleo diesel, a principal razão para que a energia incorporada obtida pelo modelo híbrido fosse maior que a obtida pelo modelo monetário (apenas 5,2%) é explicada pelos efeitos indiretos. O motivo para isto também está relacionado ao fato de que no modelo híbrido, os efeitos indiretos se tornaram maiores porque as transações entre os setores de energia apresentaram um maior encadeamento quando expressas em unidades físicas.

Em termos das participações da energia não renovável e renovável, os resultados obtidos com o modelo híbrido indicam que, de toda a energia incorporada no óleo diesel, 97,0% é composta por energia não renovável e 3,0% por energia renovável. As participações dos efeitos direto e indireto com relação à energia não renovável são apresentadas na Tabela 4.30; na Tabela 4.31 são mostradas as mesmas participações com relação à energia renovável.

Tabela 4.30 Energia não renovável incorporada em 1 ktep de óleo diesel – modelo híbrido

Total de Energia Não Renovável Incorporada em 1 ktep de Óleo diesel		
Efeitos diretos na energia Não Renovável	1,045	89,6%
Efeitos indiretos na energia Não Renovável	0,121	10,4%
Total de Energia Não Renovável (direto + indireto)	1,166	100,0%

Os resultados obtidos para energia não renovável na Tabela 4.30, ao serem comparados com os da Tabela 4.15 (modelo monetário), são, no total, 4,6% maiores, uma diferença que não é expressiva. Como também ocorrido na análise para a gasolina, este pequeno aumento é explicado, principalmente, pelos efeitos indiretos, que são 255,9% maiores no modelo híbrido, dado o maior encadeamento observado entre os setores energéticos quando as transações são apontadas em unidades físicas.

Tabela 4.31 Energia renovável incorporada em 1 ktep de óleo diesel – modelo híbrido

Total de Energia Renovável Incorporada em 1 ktep de Óleo diesel		
Efeitos diretos na energia Renovável	0,020	55,3%
Efeitos indiretos na energia Renovável	0,016	44,7%
Total de Energia Renovável (direto + indireto)	0,036	100,0%

No que se refere à energia renovável, a comparação entre as Tabelas 4.31 (modelo híbrido) e 4.16 (modelo monetário) mostra que o total de energia renovável incorporada pelo modelo híbrido é 132,3% maior (novamente, a diferença percentual foi muito próxima da obtida na gasolina); embora a diferença em termos relativos seja elevada, em valores absolutos (0,0205 ktep) ela é pouco significativa quando comparada com a energia total incorporada (1,143 ktep no modelo monetário e 1,202 ktep no híbrido). O motivo principal para a diferença está nos efeitos diretos do modelo híbrido serem maiores que os do monetário, especificamente para a energia hidráulica, principal fonte primária para a geração de eletricidade.

4.4 Comparações finais entre os modelos

A Tabela 4.32 apresenta os resultados agregados entre os modelos monetário, híbrido e o monetário utilizado em Cunha (2011).

Tabela 4.32 Resultados agregados neste trabalho e no obtido por Cunha (2011).

Item	Modelo Monetário	Modelo Híbrido	Modelo monetário Cunha (2011)
Emissões gasolina (gCO ₂ eq / MJ)	75,534	75,317	77,52
Emissões óleo diesel (gCO ₂ eq / MJ)	85,007	86,908	89,02
Energia incorporada gasolina (ktep)	1,144	1,201	1,045
Energia incorporada óleo diesel (ktep)	1,143	1,202	1,037

As diferenças verificadas entre os resultados de Cunha (2011), com os obtidos nesta pesquisa, podem ser decorrentes: (i) de uma pequena alteração na tecnologia envolvida ao longo da cadeia produtiva entre 2004 e 2009, (ii) da variação de preços entre 2004 e 2009 e (iii) do nível de desagregação setorial usado no trabalho de Cunha (2011) ser maior.

As diferenças apresentadas entre os modelos monetário e híbrido nesta dissertação são pequenas, e um pouco maiores somente para a energia incorporada; isto é explicado pela diferença metodológica empregada em cada modelo; a fim de obter os resultados para a energia incorporada doméstica no modelo monetário, houve a necessidade em utilizar coeficientes técnicos que possibilitassem estes cálculos em base monetária.

É importante destacar que todos os indicadores de energia e emissões de GEE calculados referem-se aos combustíveis (gasolina e óleo diesel) disponíveis na “porta da refinaria”. Para avaliar estes indicadores “na bomba” (nos postos de combustíveis), deve-se levar em conta o aumento de emissões e o uso de energia devido à etapa de

transporte dos combustíveis até os postos, bem como o aumento devido à etapa de comercialização (emissões e uso de energia nos postos). Esta estimativa foi feita no modelo adicionando-se um choque nos produtos “Transporte de cargas” e “Comércio” para a gasolina e para o óleo diesel; os resultados são apresentados na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 Emissões de GEE e energia incorporada por ktep para a gasolina e óleo diesel “na bomba”.

Item	Modelo Monetário	Modelo Híbrido
Emissões gasolina (gCO ₂ eq / MJ)	77,404	76,715
Emissões óleo diesel (gCO ₂ eq / MJ)	85,692	87,659
Energia incorporada gasolina (ktep)	1,175	1,225
Energia incorporada óleo diesel (ktep)	1,155	1,214

Os resultados obtidos para as emissões de GEE e energias incorporadas pelos dois modelos “na bomba” para os dois combustíveis são próximos. Em relação aos resultados “na porta da refinaria”, as emissões de GEE para a gasolina “na bomba” são, na média dos dois modelos, 2,2% superiores; para o óleo diesel as emissões são, na média, 0,8% superiores. Em relação à energia incorporada, para a gasolina “na bomba”, há um aumento médio de 2,4% quando comparada na “porta da refinaria” e, para o óleo diesel, o aumento médio é de 1,0%. Os aumentos maiores para a gasolina são explicados porque a margem de comércio, observada nas tabelas de recursos e usos do IBGE, é mais expressiva para a gasolina do que para o óleo diesel, calculada em termos de energia.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os indicadores de energia incorporada e de emissões GEE da produção de gasolina e óleo diesel no Brasil; analisando a cadeia produtiva destes combustíveis no ano de 2009, tendo como referência o Balanço Energético Nacional (EPE, 2012); e considerando as fontes de energia primária doméstica e a importação de energia primária e secundária envolvidas no processo de produção dos combustíveis citados, de acordo com a estimativa da matriz de insumo-produto do Brasil baseada nas tabelas de recursos e usos de 2009 (IBGE, 2010). Esta avaliação foi feita através da análise de insumo-produto, com o intuito de captar todos os efeitos diretos e indiretos, ao longo da cadeia produtiva destes combustíveis fósseis. As estimativas dos indicadores foram realizadas usando-se um modelo de insumo-produto monetário e outro híbrido, a fim de comparar os resultados de ambos.

Este capítulo apresenta as principais conclusões sobre os resultados mais relevantes obtidos nesta dissertação incluindo a metodologia sugerida e implementada para se quantificar os indicadores. Ao final do capítulo são sugeridos alguns estudos para o aprofundamento e melhoria do conteúdo apresentado neste trabalho.

5.1 Resultados mais relevantes

Levando-se em consideração todos os efeitos diretos e indiretos da cadeia produtiva da gasolina, usando o modelo monetário de insumo-produto, verificou-se que as emissões de GEE relativas ao consumo (queima) e à produção de 1MJ de gasolina são de 75,534 gCO₂eq; ao comparar este valor com o resultado obtido por Cunha (2011), que afirma que, em 2004 as emissões para esta cadeia produtiva foram 77,520 gCO₂eq, verificou-se, então, uma pequena redução, que pode ser decorrente (i) de uma pequena alteração tecnológica ao longo da cadeia produtiva, (ii) de alterações de preços relativos entre 2004 e 2009 nos produtos da economia brasileira ou (iii) da diferença nos níveis de agregação setorial, que no estudo de Cunha (2011) foi maior que o realizado

nesta dissertação. As emissões de GEE incorporadas em 1 MJ de óleo diesel obtidas neste trabalho com o modelo monetário foram de 85,007 gCO₂eq, cuja quantidade também é um pouco inferior (4,5%) àquela obtida por Cunha (2011); as razões para isto podem ser as mesmas do que as mencionadas para a gasolina.

Com relação à energia, de acordo com o modelo monetário, há 1,144 ktep de energia incorporada na demanda final por 1 ktep de gasolina; para a demanda final por 1 ktep óleo diesel, a energia incorporada obtida foi de 1,143 ktep. Os resultados obtidos são praticamente os mesmos e refletem, naturalmente, o fato de que a tecnologia para a produção destes combustíveis é praticamente a mesma, especificamente quando se consideram os efeitos diretos e indiretos ao longo de suas cadeias produtivas.

Ao compararmos os resultados obtidos neste estudo, relacionados à energia, com os apresentados por Cunha (2011), observamos que são 9,5% e 10,2% maiores para a gasolina e óleo diesel, respectivamente. A hipótese para isto é que, devido ao nível de agregação setorial ser maior no modelo empregado neste trabalho os efeitos indiretos passam a ser mais expressivos; ainda assim, pode haver o efeito das mudanças de preços relativos ou mesmo de tecnologia entre 2004 e 2009.

Com relação aos resultados obtidos com o modelo híbrido no estudo aqui apresentado, eles são muito próximos daqueles encontrados no modelo monetário, tanto para a gasolina quanto para o óleo diesel; o fato de boa parte do processo de desagregação setorial das atividades de energia fóssil no modelo monetário ter sido feita usando-se critérios baseados no uso de energia (através dos dados do BEN) explica esta proximidade.

Em termos das emissões de GEE, a diferença não passou de 2,2% e, para a energia incorporada, elas foram 5,0% e 5,2% maiores para a gasolina e óleo diesel, respectivamente, no modelo híbrido. Entende-se que, para a energia, a razão principal para o aumento nos resultados presentes no modelo híbrido é devido aos efeitos indiretos que são mais significativos no modelo híbrido, pelo fato dele computar mais precisamente as transações entre os setores energéticos, que são dadas em quantidades físicas (obtidas por estimativas a partir do BEN) evitando-se, assim, as distorções causadas sobre o consumo de um energético pelos diversos setores da economia quando computada em valores monetários. Portanto, como em geral os resultados entre os dois modelos são muito próximos, pode-se afirmar que as estimativas feitas usando um modelo monetário são desejáveis quando se quer obter uma primeira boa estimativa,

dado que estimar uma matriz híbrida pode requerer um trabalho adicional muito grande para o pesquisador.

Em termos dos efeitos indiretos, sobre os indicadores obtidos, vale chamar a atenção que ele pode ser representativo; por exemplo, nos resultados com o modelo híbrido (onde os efeitos indiretos foram, em geral, superiores ao modelo monetário), a importância dos efeitos indiretos para a energia incorporada foi de 10,9% para a gasolina e 11,4% para o óleo diesel.

Outro resultado interessante diz respeito à importância das fontes de energia importadas (fontes primárias e secundárias de energia), particularmente com relação às estimativas das energias incorporadas; por exemplo, 23,1% de toda a energia incorporada na gasolina brasileira tem origem importada, enquanto para o óleo diesel esta participação foi estimada em 22,5% - naturalmente, estas participações consideram os efeitos diretos e indiretos ao longo das cadeias produtivas da gasolina e do óleo diesel.

Ainda em relação aos resultados, como nos modelos construídos foram desagregados os principais setores energéticos, foi possível quantificar também os conteúdos das energias domésticas renováveis (lenha, produtos da cana e energia hidráulica), incorporadas na gasolina e no óleo diesel ainda que estes combustíveis sejam de origem fóssil. No modelo híbrido, as participações das fontes renováveis foram de 2,8% e 3,0%, respectivamente.

Como um todo, pode-se afirmar que os objetivos do estudo foram alcançados; a análise dos resultados deixa claro o quão interessante é o uso de modelos de insumo-produto para avaliação de indicadores de emissões e de energia, pois o emprego da metodologia permite capturar as diversas (e complexas) relações intersetoriais das atividades econômicas, incluindo, obviamente, os setores energéticos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A elaboração deste estudo permitiu identificar algumas oportunidades para sua melhoria e seu aprofundamento; elas são destacadas a seguir.

Neste trabalho foram quantificadas as energias incorporadas de origem importada. Com relação a este aspecto, sugere-se realizar uma análise com o uso de um

modelo de insumo produto internacional e inter-regional. Este estudo pode ser feito em duas etapas: usando-se um modelo internacional e inter-regional monetário e, depois, usando-se um modelo internacional e inter-regional híbrido. Com esta abordagem, os efeitos indiretos relativos à importação podem ser mais bem avaliados, tanto em relação à energia incorporada, como em relação às emissões de GEE.

O presente trabalho analisou os indicadores de emissões de GEE e energia incorporada na cadeia produtiva da gasolina e óleo diesel para o ano de 2009; uma sugestão seria realizar o mesmo trabalho para os anos de 2000 até 2009, de tal modo a avaliar os impactos da mudança de tecnologia e da estrutura da economia brasileira nesta década sobre os indicadores de energia e emissões de GEE sobre os combustíveis fósseis.

Outro estudo para avaliar os mesmos indicadores, feitos nesta dissertação, poderia combinar a análise de insumo-produto com a análise de ciclo de vida (ACV), de tal modo a descrever melhor as atividades diretamente relacionadas ao refino do petróleo; neste sentido, o uso combinado das duas técnicas aproveitaria o que há de melhor nelas – com insumo-produto, há a descrição de todos os setores da economia e todos os efeitos diretos e indiretos são computados; com a ACV, a análise sobre processos mais específicos para setores selecionados pode ser feita.

Finalmente, sugere-se a realização de um estudo para avaliar indicadores socioeconômicos incorporados aos combustíveis fósseis, o qual não foi realizado no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (2009). Iso 14040. Gestão Ambiental-Avaliação do Ciclo de Vida-Princípios e Estrutura.
- ARVIDSSON, R., FRANSSON, K., FRÖLING, M., SVANSTRÖM, M., MOLANDER, S. (2012). *Energy use indicators in energy and life cycle assessments of biofuels: review and recommendations*. Gothenburg, Sweden: ELSEVIER.
- BASTIANONI, S, & MARCHETTINI, N. (1996). Ethanol production from biomass: Analysis of process efficiency and sustainability. *Biomass and Bioenergy*, 411-418, V.11.
- BRAGA, L. P. (2012).) *O processo de individualização da produção na área do pré-sal e os potenciais problemas práticos advindos da convivência dos três modelos de contratos internacionais de petróleo*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- BELIEIRO, J.C.M. (2012). *Política e Desenvolvimento no Brasil contemporâneo: a experiência do setor automotivo nos anos 90*. Universidade Federal de Santa Maria / UFSM.
- BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), CGEE (Centro de Gestão de Estudos Estratégicos). Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável , Rio de Janeiro, 2008.
- BOUVART, F., PRIEURA, A. (2009). Comparison of Life Cycle GHG Emissions and Energy Consumption of combined Electricity and H2 production pathways with CCS : Selection of technologies with Natural Gas, Coal and Lignite as fuel for the European HYPOGEN Programme. *Energy Procedia*, 3779–3786.
- CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. *Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions, Ecological Economics*, v. 22, p. 19-27, 1997
- CARVALHO, T. S., PEROBELLI, F. S. (2008). *Avaliação da intensidade de emissões de CO2 setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil*. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora.

- CAVALETT, O. (2008). *Análise do Ciclo de Vida da Soja*. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, Campinas – SP.
- COLTRO, Leda (Org.). *Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão*. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 72 p.
- CUNHA, M. P. (2011). *Avaliação socioeconômica e ambiental de rotas de produção de biodiesel no Brasil, baseada em análise de insumo-produto*. Campinas: UNICAMP/FEM.
- EPE. (2010). *Balanco Energético Nacional*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.. Acesso em março de 2012, disponível em < https://ben.epe.gov.br/.../relatorio_final_ben_2010.pdf>
- FIRME, V. D., PEROBELLI, F. S. (2012). *O setor energético brasileiro: uma análise via indicadores de insumo-produto e o modelo híbrido para os anos de 1997 e 2002*. Juiz de Fora: Planejamento e políticas públicas; Universidade Federal de Juiz de Fora.
- GUILHOTO, J. J. (s.d.). (2011). *Joaquim J. M. Guilhoto-An invitation to the Input-Output World*. Acesso em março de 2012, disponível em: <http://guilhotojjmg.wordpress.com/banco-de-dados/matrizes-nacionais-2/>
- GUILHOTO, J. J., SESSO F., U. A. (2010). *Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005*. Economia & Tecnologia, Vol 23.
- HENDRICKSON, C., LAVE, L. B., MATTHEWS, H. S. (2006). *Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services. An Input-Output Approach*. Washington: DC. RFF Press book.
- HILGEMBERG, E. M. (2004). *Quantificação de Efeitos Econômicos do Controle de Emissões de Co2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto*. Piraciba: USP; Escola Superior de Agricultura.
- IBGE. (2009). *Produção da Extração vegetal e da silvicultura*. Brasil: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE, V. 4.

IBGE. (s.d.). *CNAE 2.0*. Acesso em Junho de 2012, disponível em: <http://www.cnae.ibge.gov.br/estrutura.asp?TabelaBusca=CNAE_200@CNAE%202.0@0@cnae@0>

IBGE. (s.d.). *Matriz de insumo-produto: Brasil 2000/2005*. Acesso em Março de 2012, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/>

IBGE. (s.d.). *Pesquisa Industrial Anual 2011 (PIA)*. Acesso em Junho de 2012, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/questionarios/pia_empresa.html>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). (s.d.). *Working together to ensure reliable, affordable and clean energy*. Acesso em junho de 2012, disponível em: <<http://www.iea.org/>>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2009*. IEA, Paris, France, 2009.

IMORI, D., GUILHOTO, J. J. (2007). *Estrutura produtiva brasileira e setores-chave para a emissão de CO₂: uma análise de insumo-produto*. Londrina: XLV CONGRESSO DA SOBER.

IPEA. (s.d.). *IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada*. Acesso em junho de 2012, disponível em: <http://www.ipea.gov.br/redeipea/index.php?option=com_content&view=article&id=98:matriz-insumo-produto-regional&catid=89:projetos-de-pesquisa&Itemid=206>

IPCC. (s.d.). *IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change*. Acesso em junho de 2012, disponível em <http://www.ipcc.ch/Iso14040>. (s.d.). *Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. Acesso em março de 2012, disponível em: <<http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/marzely/materiais/NBRISO14040.pdf>>

LABANDEIRA, X., LABEAGA, J. M. (2002). *Estimation and control of Spanish energy related CO₂ emissions: an input-output approach*. *Energy Policy*, 597-611, V. 30.

- LOPES, D.F. (2011). *Créditos de Carbono na indústria de cimento*. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS
- MACHADO, G. V. (2002). *Meio ambiente e comércio exterior: impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.
- MCT. (2005). *Inventário de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal*. Brasil: Ministério de Ciências e Tecnologias.
- MELLON, C. (s.d.). *Limitations of the EIO-LCA Method and Models*. Acesso em novembro de 2012, disponível em: <<http://www.eiolca.net/Method/Limitations.html>>
- MILLER, R. E., BLAIR, P. D. (2009). *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*. Cambridge: Cambridge.
- MMA. (s.d.) *Ministério do Meio Ambiente*. Acesso em junho de 2012, disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>>
- NEALER, R., MATTHEWS, H. S., HENDRICKSON, C. (2011). *Assessing the energy and greenhouse gas emissions mitigation effectiveness of potential US modal freight policies*. Pittsburgh, United States: ELSEVIER.
- PIMENTEIRA, C. A. (2002). *Aspectos sócio-econômicos da gestão de resíduos sólidos no Rio de Janeiro-uma análise de insumo-produto*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.
- SANTIAGO, F. S. (2009). *Um modelo econométrico + insumo-produto para a revisão de longo prazo da demanda de combustíveis no Brasil*. Juíz de Fora: Universidade Juíz de Fora.
- SANTIAGO, F. S., CARVALHO, T. S., PEROBELLI, F. S. (2010). *Análise setorial da intensidade de emissões de CO₂ e na estrutura de exportações: um modelo regional de insumo-produto para minas gerais*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

SZKLO, A., ULLER, V. C. (2008). *Fundamentos do Refino de Petróleo*. Rio de Janeiro: INTERCIÊNCIA.

ANEXO A

Lista de correspondência setorial, realizada para se obter 25 setores dos 67 desagregados da matriz original, que continha 58 setores.

Tabela A.1 Correspondência setorial

58 setores originais	67 setores obtidos através da desagregação	25 setores obtidos através da agregação de acordo com BEN.
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	Lenha	Lenha
	Canavieiro	Produtos energéticos da cana
	Agricultura, Silvicultura	Agropecuário
Pecuária e pesca	Pecuária e pesca	
Petróleo e gás natural	Extração de petróleo	Petróleo
	Extração de gás natural	Gás natural
Minério de ferro	Minério de ferro	Mineração e pelotiz..
Outros da indústria extrativa	Outros da indústria extrativa	
	Extração de Carvão mineral	
Alimentos e Bebidas	Alimentos e Bebidas	Alimentos e bebidas
Têxteis	Têxteis	Têxtil
Artigos do vestuário e acessórios	Artigos do vestuário e acessórios	
Artefatos de couro e calçados	Artefatos de couro e calçados	
Celulose e produtos de papel	Celulose e produtos de papel	Papel e celulose
Jornais, revistas, discos	Jornais, revistas, discos	
Refino de petróleo e coque	Gasolina	Gasolina
	Óleo diesel	Óleo diesel
	Resto do Refino de petróleo	Refinarias de petróleo
	Gasoolcool	
Álcool	Álcool	Destilarias

Produtos químicos	Produtos químicos	Química	
Fabricação de resina e elastômeros	Fabricação de resina e elastômeros		
Produtos farmacêuticos	Produtos farmacêuticos		
Defensivos agrícolas	Defensivos agrícolas		
Perfumaria, higiene e limpeza	Perfumaria, higiene e limpeza		
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas		
Produtos e preparados químicos diversos	Produtos e preparados químicos diversos		
Artigos de borracha e plástico	Artigos de borracha e plástico		
Cimento	Cimento		Cimento
Outros produtos de minerais não-metálicos	Outros produtos de minerais não-metálicos		Cerâmica
Fabricação de aço e derivados	Fabricação de aço e derivados		Aço e derivados
Metalurgia de metais não-ferrosos	Metalurgia de metais não-ferrosos		Não-ferrosos e outros da metalurgia
Produtos do fumo	Produtos do fumo		Outros da indústria
Produtos de madeira - exclusive móveis	Produtos de madeira - exclusive móveis		
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos		
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos		
Eletrodomésticos	Eletrodomésticos		
Máquinas para escritório e equipamentos de informática	Máquinas para escritório e equipamentos de informática		
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos		
Material eletrônico e equipamentos de comunicações	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	Outros da indústria	
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico		
Automóveis, camionetas e utilitários	Automóveis, camionetas e utilitários		
Caminhões e ônibus	Caminhões e ônibus		

Peças e acessórios para veículos automotores	Peças e acessórios para veículos automotores		
Outros equipamentos de transporte	Outros equipamentos de transporte		
Móveis e produtos das indústrias diversas	Móveis e produtos das indústrias diversas		
Construção	Construção		
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	Geração de Eletricidade	Geração de eletricidade	
	Distribuição de Eletricidade	T&D de eletricidade	
	Gás, água, esgoto e limpeza urbana		
Transporte, armazenagem e correio	Transporte, armazenagem e correio	Transportes - Total	
Comércio	Comércio	Comercial	
Serviços de informação	Serviços de informação		
Intermediação financeira e seguros	Intermediação financeira e seguros		
Serviços imobiliários e aluguel	Serviços imobiliários e aluguel		
Serviços de manutenção e reparação	Serviços de manutenção e reparação		
Serviços de alojamento e alimentação	Serviços de alojamento e alimentação		
Serviços prestados às empresas	Serviços prestados às empresas		
Educação mercantil	Educação mercantil		
Saúde mercantil	Saúde mercantil		
Serviços prestados às famílias e associativas	Serviços prestados às famílias e associativas		
Serviços domésticos	Serviços domésticos		
Educação pública	Educação pública		Público
Saúde pública	Saúde pública		
Administração pública e seguridade social	Administração pública e seguridade social		

ANEXO B

Lista dos cálculos e os resultados dos preços relativos de 2005 até 2009.

Tabela B.1 Preços relativos de 2005 até 2009

Produtos	2005	2006	2007	2008	2009
	p2004/p2005	p2005/p2006	p2006/p2007	p2007/p2008	p2008/p2009
Arroz em casca	1,377	1,019	0,903	0,713	1,039
Milho em grão	1,033	1,158	0,782	0,847	1,188
Trigo em grão e outros cereais	1,254	0,950	0,824	0,858	1,142
Cana-de-açúcar	0,941	0,841	1,100	1,084	0,898
Soja em grão	1,489	1,206	0,826	0,711	0,986
Outros produtos e serviços da lavoura	0,968	0,981	0,940	0,828	1,019
Mandioca	1,296	0,985	0,873	0,870	0,931
Fumo em folha	0,989	1,058	0,954	0,805	0,983
Algodão herbáceo	0,824	1,055	1,004	0,984	0,826
Frutas cítricas	1,014	0,764	1,064	0,993	0,963
Café em grão	0,905	1,037	0,960	0,959	1,050
Produtos da exploração florestal e da silvicultura	0,936	0,915	0,914	0,902	0,909
Bovinos e outros animais vivos	0,979	1,005	0,925	0,803	0,987
Leite de vaca e de outros animais	0,944	1,052	0,834	0,869	0,968
Suínos vivos	0,958	1,132	0,957	0,778	1,070
Aves vivas	0,942	1,037	0,875	0,961	1,032
Ovos de galinha e de outras aves	0,969	1,082	0,913	0,877	0,999
Pesca e aquicultura	0,930	0,867	0,937	1,001	0,921
Petróleo e gás natural	0,834	0,879	1,047	0,771	1,438
Minério de ferro	0,825	1,034	1,010	0,771	0,958
Carvão mineral	0,837	0,979	1,153	0,645	1,238
Minerais metálicos não-ferrosos	1,004	0,689	0,842	0,967	1,306
Minerais não-metálicos	1,010	1,032	0,909	0,744	1,011
Abate e preparação de produtos de carne	0,891	0,958	0,906	0,841	0,973
Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada	0,891	1,073	1,016	0,817	1,099
Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada	1,003	1,027	0,875	0,869	1,035
Pescado industrializado	0,982	1,029	1,006	0,997	0,803
Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	0,973	0,902	0,988	0,963	0,852
Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja	1,205	1,088	0,846	0,719	0,937
Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho	1,040	1,006	0,924	0,906	0,977
Óleo de soja refinado	1,272	0,972	0,875	0,717	1,188
Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	0,981	0,987	0,779	0,967	0,845
Produtos do laticínio e sorvetes	0,913	0,967	0,834	0,891	0,924
Arroz beneficiado e produtos derivados	1,368	1,019	0,871	0,783	1,010

Farinha de trigo e derivados	1,014	1,046	0,794	0,787	1,106
Farinha de mandioca e outros	1,238	1,026	0,801	0,873	0,972
Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações	0,876	1,037	0,898	0,871	0,984
Produtos das usinas e do refino de açúcar	0,808	0,839	1,350	0,992	0,774
Café torrado e moído	0,937	0,875	0,939	0,986	1,047
Café solúvel	0,973	0,887	0,997	0,953	1,023
Outros produtos alimentares	0,898	1,067	0,949	0,877	0,972
Bebidas	0,959	0,940	0,933	0,905	0,932
Produtos do fumo	1,020	0,990	0,955	0,861	0,975
Beneficiamento de algodão e de outros têx e fiação	1,169	1,029	0,951	0,946	0,938
Tecelagem	1,035	0,970	1,049	0,949	0,977
Fabricação outros produtos Têxteis	1,029	0,935	0,998	0,980	0,945
Artigos do vestuário e acessórios	0,859	0,911	0,910	0,924	0,871
Preparação do couro e fabricação de artefatos - exclusive calçados	0,985	1,105	0,941	0,961	1,108
Fabricação de calçados	0,994	0,932	0,884	0,892	0,951
Produtos de madeira - exclusive móveis	1,010	0,974	0,876	0,885	0,950
Celulose e outras pastas para fabricação de papel	1,218	0,947	0,927	0,934	1,113
Papel e papelão, embalagens e artefatos	1,002	1,012	0,904	0,977	1,020
Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados	1,014	0,991	0,911	0,926	0,960
Gás liquefeito de petróleo	0,958	0,951	0,998	1,018	0,958
Gasolina automotiva	0,820	0,898	1,007	0,946	1,016
Gasoolcool	0,831	0,903	0,988	1,009	0,964
Óleo combustível	0,810	0,929	1,008	0,738	1,233
Óleo diesel	0,796	0,912	0,957	0,891	0,986
Outros produtos do refino de petróleo e coque	0,960	0,985	0,997	0,820	1,176
Álcool	0,861	0,871	1,092	0,945	1,056
Produtos químicos inorgânicos	1,055	1,123	0,853	0,613	1,321
Produtos químicos orgânicos	1,026	1,025	0,937	0,926	1,189
Fabricação de resina e elastômeros	0,954	0,960	0,965	0,923	1,306
Produtos farmacêuticos	0,983	0,956	0,986	0,987	0,951
Defensivos agrícolas	1,234	1,048	1,047	0,867	0,929
Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	0,950	0,944	0,953	0,904	0,896
Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,947	0,994	1,024	0,951	0,925
Produtos e preparados químicos diversos	1,032	0,965	0,977	0,905	0,856
Artigos de borracha	0,994	0,936	1,011	0,919	0,941
Artigos de plástico	0,922	1,028	0,950	0,923	0,942
Cimento	1,172	0,872	1,129	0,883	0,836
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,968	0,888	0,984	0,866	0,942

Gusa e ferro-ligas	0,971	1,152	0,802	0,678	1,344
Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	0,877	1,028	0,921	0,805	1,142
Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos	0,980	0,755	0,952	1,013	1,089
Fundidos de aço	0,735	0,825	0,849	0,842	0,744
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamento	0,819	1,045	0,898	0,902	0,956
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,969	0,987	0,967	0,913	0,911
Eletrodomésticos	0,911	0,997	1,033	0,977	0,908
Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,981	1,088	1,034	0,890	0,990
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,949	0,968	0,985	0,856	0,910
Material eletrônico e equipamentos de comunicações	1,035	1,048	1,071	0,970	0,909
Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	1,010	1,049	0,985	0,956	0,876
Automóveis, camionetas e utilitários	1,012	0,925	0,938	0,926	0,995
Caminhões e ônibus	0,991	1,026	1,021	0,804	0,974
Peças e acessórios para veículos automotores	0,896	1,005	1,021	0,887	0,873
Outros equipamentos de transporte	1,021	0,983	1,032	1,053	1,017
Móveis e produtos das indústrias diversas	0,972	1,001	0,963	0,870	0,934
Sucatas recicladas	0,635	1,018	0,909	0,781	0,931
Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,954	0,970	0,993	0,966	0,950
Construção civil	0,952	0,968	0,929	0,922	0,862
Comércio	0,904	0,939	0,921	0,909	0,925
Transporte de carga	0,869	0,938	0,926	0,884	0,927
Transporte de passageiro	0,924	0,986	0,956	0,945	0,982
Correio	0,915	0,866	0,968	0,927	0,936
Serviços de informação	0,927	0,957	0,949	0,970	0,940
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados	0,892	0,961	0,987	1,078	0,977
Atividades imobiliárias e aluguéis	0,974	0,960	0,970	0,919	0,902
Aluguel imputado	0,961	0,974	0,964	0,947	0,927
Serviços de manutenção e reparação	0,907	0,950	0,965	0,975	0,979
Serviços de alojamento e alimentação	0,977	0,911	0,913	0,964	0,892
Serviços prestados às empresas	0,960	0,929	0,953	0,935	0,921
Educação mercantil	1,102	0,879	0,934	0,965	0,935
Saúde mercantil	0,986	0,909	0,934	0,946	0,915
Serviços prestados às famílias	0,929	0,951	0,938	0,932	0,965
Serviços associativos	0,908	0,935	1,014	0,945	0,940
Serviços domésticos	0,922	0,893	0,910	0,901	0,892
Educação pública	0,868	0,871	0,820	0,829	0,880
Saúde pública	0,962	0,905	0,937	0,940	0,914
Serviço público e seguridade social	0,884	0,945	0,952	0,927	0,933

Anexo C

Este anexo traz as tabelas C.1 e C.2, que mostram, respectivamente, o nível de agregação dos setores e dos produtos.

Tabela C.1 Nível de agregação dos setores

Setores			
1	PETRÓLEO	14	AGROPECUÁRIO
2	GÁS NATURAL	15	TRANSPORTES - TOTAL
3	CARVÃO VAPOR	16	CIMENTO
4	LENHA	17	Aço e derivados
5	PRODUTOS energéticos DA CANA	18	MINERAÇÃO E PELOTIZ.
6	REFINARIAS DE PETRÓLEO	19	NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA
7	ÓLEO DIESEL	20	QUÍMICA
8	GASOLINA	21	ALIMENTOS E BEBIDAS
9	Geração de eletricidade	22	TÊXTIL
10	T&D de eletricidade	23	PAPEL E CELULOSE
11	DESTILARIAS	24	CERÂMICA
12	COMERCIAL	25	OUTROS da indústria
13	PÚBLICO		

Tabela C.2 Nível de agregação dos produtos

Produtos					
1	Petróleo	20	Fumo em folha	39	Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja
2	Gás Natural	21	Algodão herbáceo	40	Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho
3	Carvão Vapor	22	Frutas cítricas	41	Óleo de soja refinado
4	Lenha	23	Café em grão	42	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado
5	Produtos energéticos da cana	24	Produtos da exploração florestal e da silvicultura	43	Produtos do laticínio e sorvetes
6	Óleo Combustível	25	Bovinos e outros animais vivos	44	Arroz beneficiado e produtos derivados
7	GLP	26	Leite de vaca e de outros animais	45	Farinha de trigo e derivados
8	Outros do refino	27	Suínos vivos	46	Farinha de mandioca e outros
9	Óleo Diesel	28	Aves vivas	47	Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações
10	Gasolina	29	Ovos de galinha e de outras aves	48	Produtos das usinas e do refino de açúcar
11	Eletricidade gerada	30	Pesca e aquicultura	49	Café torrado e moído
12	Eletricidade T&D	31	Minério de ferro	50	Café solúvel
13	Álcool Etílico Anidro e Hidratado	32	Minerais metálicos não-ferrosos	51	Outros produtos alimentares
14	Arroz em casca	33	Minerais não-metálicos	52	Bebidas
15	Milho em grão	34	Abate e preparação de produtos de carne	53	Produtos do fumo
16	Trigo em grão e outros cereais	35	Carne de suíno fresca, refrigerada ou congelada	54	Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fiação
17	Soja em grão	36	Carne de aves fresca, refrigerada ou congelada	55	Tecelagem
18	Outros produtos e serviços da lavoura	37	Pescado industrializado	56	Fabricação outros produtos Têxteis
19	Mandioca	38	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	57	Artigos do vestuário e acessórios

58	Preparação do couro e fabricação de artefatos - exclusive calçados	77	Gusa e ferro-ligas	96	Comércio
59	Fabricação de calçados	78	Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	97	Transporte de carga
60	Produtos de madeira - exclusive móveis	79	Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos	98	Transporte de passageiro
61	Celulose e outras pastas para fabricação de papel	80	Fundidos de aço	99	Correio
62	Papel e papelão, embalagens e artefatos	81	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamento	100	Serviços de informação
63	Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados	82	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	101	Intermediação financeira e seguros
64	Gasócool	83	Eletrodomésticos	102	Serviços imobiliários e aluguel
65	Produtos químicos inorgânicos	84	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	103	Aluguel imputado
66	Produtos químicos orgânicos	85	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	104	Serviços de manutenção e reparação
67	Fabricação de resina e elastômeros	86	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	105	Serviços de alojamento e alimentação
68	Produtos farmacêuticos	87	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	106	Serviços prestados às empresas
69	Defensivos agrícolas	88	Automóveis, camionetas e utilitários	107	Educação mercantil
70	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	89	Caminhões e ônibus	108	Saúde mercantil
71	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	90	Peças e acessórios para veículos automotores	109	Serviços prestados às famílias
72	Produtos e preparados químicos diversos	91	Outros equipamentos de transporte	110	Serviços associativos
73	Artigos de borracha	92	Móveis e produtos das indústrias diversas	111	Serviços domésticos
74	Artigos de plástico	93	Sucatas recicladas	112	Educação pública
75	Cimento	94	Gás, água, esgoto e limpeza urbana	113	Saúde pública
76	Outros produtos de minerais não-metálicos	95	Construção	114	Serviço público e seguridade social