



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Mecânica

ROBERTA FERREIRA CARRIJO SHARMA

**Desenvolvimento de um modelo integrado
de equilíbrio geral e desagregação estrutural
para projetar a demanda energética do setor
industrial brasileiro.**

Campinas

2018

ROBERTA FERREIRA CARRIJO SHARMA

**Desenvolvimento de um modelo integrado
de equilíbrio geral e desagregação estrutural
para projetar a demanda energética do setor
industrial brasileiro**

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, ao Planejamento de Sistemas Energéticos, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

Coorientador: Prof. Dr. Orlando Frederico José Godoy Bordoni

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA
PELA ALUNA ROBERTA FERREIRA
CARRIJO SHARMA, E ORIENTADA PELO
PROF. DR SÉRGIO VALDIR BAJAY

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

Campinas

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Sh23d Sharma, Roberta Ferreira Carrijo, 1981-
Desenvolvimento de um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural para projetar a demanda energética do setor industrial brasileiro / Roberta Ferreira Carrijo Sharma. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Sérgio Valdir Bajay.
Coorientador: Orlando Frederico José Godoy Bordoni.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Projeção. 2. Equilíbrio econômico. 3. Energia - Consumo - Brasil - Modelos matemáticos. I. Bajay, Sérgio Valdir, 1950-. II. Bordoni, Orlando Frederico José Godoy. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Development of an integrated general equilibrium and structural disaggregation model to forecast energy demand for the Brazilian industrial sector

Palavras-chave em inglês:

Energy forecast

Equilibrium (economics)

Energy consumption - Brazil - Mathematical models

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Doutora em Planejamento de Sistemas Energéticos

Banca examinadora:

Sérgio Valdir Bajay [Orientador]

Gilberto de Martino Jannuzzi

Marcelo Pereira da Cunha

Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho

Paulo Henrique de Mello Sant Ana

Data de defesa: 10-08-2018

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

TESE DE DOUTORADO

**Desenvolvimento de um modelo integrado de
equilíbrio geral e desagregação estrutural para
projetar a demanda energética do setor industrial
brasileiro.**

Autor: Roberta Ferreira Carrijo Sharma

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay

Coorientador: Dr. Orlando Frederico José Godoy Bordoni

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:

Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay, Presidente
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

Prof. Dr. Gilberto de Martino Jannuzzi
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha
Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.

Prof. Dr. Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho
ESALQ, Universidade de São Paulo.

Prof. Dr. Paulo Henrique de Mello Sant Ana
Engenharia de energia, Universidade Federal do ABC.

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

Campinas, 10 de agosto de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família:
meus pais Roberto e Flavia,
meus irmãos Jaqueline e Vitor,
e ao meu esposo Manish.
Em especial, dedico este trabalho ao meu
pequeno Mateus por toda a sua espera e
compreensão.

Agradecimentos

Agradeço a Deus que me possibilitou chegar até aqui.
Agradeço à minha família pelo apoio incondicional.
Agradeço aos professores Bajay e Orlando pelas
instruções, incentivos e dedicação no
desenvolvimento deste trabalho.

Resumo

A projeção da demanda de energia é importante no planejamento energético dado o tempo necessário para a implementação da infraestrutura necessária para a oferta de energia.

Nesta tese foi desenvolvido um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) da economia brasileira para a projeção da demanda de energia do setor industrial brasileiro no longo prazo. O modelo MEG-DES representa as interações econômicas setoriais e assegura consistência macro e microeconômica da modelagem, na abordagem *top-down* no seu módulo de equilíbrio geral (MEG). O modelo também consegue incorporar rupturas tecnológicas em segmentos industriais, na abordagem *bottom-up* no seu módulo de desagregação estrutural (DES). Para a aplicação do modelo MEG-DES, foi desenvolvida uma base de dados desagregada por cadeias produtivas, para o setor industrial, compatibilizando as estatísticas econômicas do Sistema de Contas Nacionais e as estatísticas energéticas do Balanço Energético Nacional. A técnica de cenários, forma usual de tratamento de incertezas em estudos prospectivos de longo prazo, foi empregada neste trabalho. Foram definidos cenários de referência que postulam a manutenção das tendências tecnológicas/energéticas e econômicas detectadas no estudo, e cenários alternativos, que visam explorar um crescimento econômico mais elevado no país e a implantação de novos programas de conservação de energia na indústria. Exemplifica-se a aplicação deste modelo para a indústria química, desagregada em cinco subsetores, encontrando suas projeções da demanda de energia em todos os cenários definidos até 2030.

Palavras – chave: modelos energéticos, projeções da demanda energética, modelo de equilíbrio geral, modelo de desagregação estrutural, setor industrial brasileiro.

Abstract

Energy demand forecasting is important in energy planning given the time required for implementation of the necessary energy supply infrastructure.

In this thesis, an integrated general equilibrium and structural disaggregation model (MEG-DES) was developed for the Brazilian economy to forecast the long-term energy demand for the industrial sector. The MEG-DES model represents the economic interactions among the sectors of the economy and assures macro and microeconomic consistency for the modeling process, in the top-down approach of its general equilibrium module (MEG). It can also incorporate technological breakthroughs in industrial sectors, in the bottom-up approach of its structural disaggregation module (DES). To apply the MEG-DES model, a database disaggregated by productive chains was developed for the industrial sector, making compatible economic statistics from the National Accounts System and energy statistics from the National Energy Balance. The scenarios technique, the most usual form to treat uncertainties in long-term prospective studies, was employed in this thesis. Reference scenarios which postulate the maintenance of the technological / energy and economic trends detected in the study, and alternative scenarios that aim to explore a higher economic growth and the implementation of new energy conservation programs in the industry were adopted. Application of this model is exemplified for the chemical industry, disaggregated into five subsectors, obtaining their energy demand projections in all scenarios until 2030.

Keywords: energy models, energy demand forecasting, general equilibrium model, structural disaggregation model, Brazilian industrial sector.

Lista de Ilustrações

3.1: Desenvolvimento da teoria e aplicações de equilíbrio geral	47
3.2: Diagrama do fluxo circular da renda.....	62
4.1: Tabela de Recursos e Usos estilizada com as dimensões dos seus componentes.....	77
4.2 : Estrutura do Módulo de equilíbrio geral.....	78
4.3: Balanço de consumo e renda do consumidor representativo.	80
4.4: Representação esquemática do modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES)	89
5.1: Formato da Tabela de Recursos e Usos.	95
6.1: Valores históricos do PIB do Brasil, em milhões de R\$ de 2016, de 1997 a 2030, para os cenários BAU e Alt.....	115
6.2: Consumo energético dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BB	123
6.3: Consumo elétrico dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BB	123
6.4: Consumo energético dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BA	125
6.5: Consumo elétrico dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BB.....	125
6.6: Consumo energético dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial AB.....	126
6.7: Consumo elétrico dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial AB	126
6.8: Consumo energético dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial AA.....	127
6.9: Consumo elétrico dos subsetores da indústria química, de 2003 a 2030, no cenário tendencial AA	127
6.10: Consumo energético da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para todos os cenários adotados	128

6.11: Consumo elétrico da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para todos os cenários adotados	129
6.12: Projeção do consumo de energia da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para os cenários tendencial de crescimento econômico BB e BA, pelos modelos MEG-DES e DES	132
6.13: Projeção do consumo de energia da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para os cenários alternativos de crescimento econômico AB e AA, pelos modelos MEG-DES e DES	133

Lista de Tabelas

2.1: Taxas de crescimento do PIB em dois cenários nacionais e um cenário mundial do PDE 2026, em %.....	34
2.2: Projeção do consumo energético entre 2016 e 2026 dos setores econômicos do Brasil.....	35
2.3: Projeções das taxas de crescimento do PIB e do PIB per capita, no PNE 2050.....	38
2.4: Demanda energética primária total, em Mtep, por cenário de projeção e por combustível.....	42
2.5: Consumo energético final por setores no Cenário de Novas Políticas, em Mtep.....	43
2.6: Crescimento do PIB do Brasil e do Mundo, em % ao ano.....	44
3.1: Características e trabalhos/modelos utilizando cada uma das três metodologias de resolução de modelos de equilíbrio geral.....	52
5.1: A classificação Eficind dos setores e subsetores da economia	101
5.2: A Matriz de Contabilidade Social estilizada adotada nesta tese	106
5.3: SAM do Brasil de 2013, em milhões de R\$ correntes	109
5.4: Matriz de Contabilidade Social média em percentual do PIB.....	109
6.1: Caracterização dos cenários econômicos.....	113
6.2: Resultados dos choques nas variáveis do módulo MEG nos cenários econômicos BAU e Alt	117
6.3: Projeções dos parâmetros econômicos e energéticos da indústria química em todos os cenários.....	120
6.4: Projeções do consumo energético e elétrico do setor químico e seus subsetores	130
6.5: Taxas anuais de crescimento do consumo energético e elétrico do setor químico, em %, em todos os cenários escolhidos, projetadas pelo modelo MEG-DES e modelo DES.....	134

Glossário

BEN – Balanço Energético Nacional

CE – Consumo de Energia

CEE – Consumo de Energia Elétrica

C_{esp} – Consumo específico de energia

CE_{esp} – Consumo específico de energia elétrica

Cenário Alt – Cenário Alternativo

Cenário BAU – Cenário *Business As Usual*

CNAE – Classificação Nacional das Atividades Econômicas

CONCLA – Comissão Nacional de Classificação

DES – Desagregação Estrutural

EG – Equilíbrio Geral

FMI – Fundo Monetário Internacional

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MEG – Modelo de Equilíbrio Geral

Modelo MEG-DES – Modelo integrado de Equilíbrio Geral e Desagregação Estrutural

PDE 2026 – Plano Decenal de Energia 2026

PNE 2050 – Plano Nacional de Energia 2050

PIA – Pesquisa Industrial Anual

PIB – Produto Interno Bruto

PJ – Peta Joule, ou 10^{15} Joules.

SCN – Sistema de Contas Nacionais

SAM – Matriz de contabilidade social, do inglês *Social Accounting Matrix*

SCN 2007 – Sistema de Contas Nacionais referência 2007

SCN 2010 – Sistema de Contas Nacionais referência 2010

SCN43 – Sistema de Contas Nacionais desagregado em 43 setores

SCN51 – Sistema de Contas Nacionais desagregado em 51 setores

tep – tonelada equivalente de petróleo

Mtep – Mega tep , ou 10^6 tep.

TRU – Tabela de Recursos e Usos

VA – Valor Agregado

Sumário

1	Introdução	16
1.1	– Os modelos matemáticos de projeção da demanda de energia e o modelo proposto nesta tese para o setor industrial	16
1.2	– Objetivos deste trabalho	19
1.3	– Estrutura da tese	20
2	Projeção de demanda energética	22
2.1	– Histórico	22
2.2	– Modelos de projeção de demanda de energia	25
2.2.1	– Famílias de modelos de projeção.....	26
2.2.1.1	– Modelos econométricos	26
2.2.1.2	– Modelos de simulação	27
2.2.1.3	– Modelos mistos.....	28
2.2.2	– O modelo de desagregação estrutural.....	29
2.2.3	– Modelos de equilíbrio geral	29
2.2.4	– Um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural.....	30
2.3	– Planos de energia para o Brasil: cenários e projeções.....	31
2.3.1	– Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.....	32
2.3.2	– Plano Nacional de Energia 2050.....	36
2.3.3	– World Energy Outlook 2013	40
2.4	– Projeções do Fundo Monetário Internacional para a economia brasileira.....	43
2.5	– Síntese	44
3	Modelos de equilíbrio geral	46
3.1	– Revisão bibliográfica.....	46
3.1.1	– Desenvolvimento dos modelos de equilíbrio geral.....	46
3.1.2	– Metodologias de resolução do modelo de equilíbrio geral	50
3.1.3	– Aplicações de modelos de equilíbrio geral.....	53
3.1.4	– Aplicações de modelo de equilíbrio geral na área de energia	57
3.2	– Teoria de equilíbrio geral	61
3.2.1	– Equilíbrio econômico e o fluxo circular da renda.....	61
3.2.2	– Condições para o equilíbrio econômico	62
3.2.3	– O problema de complementaridade	64
3.2.4	– Formulação do modelo de equilíbrio geral como um problema de complementaridade	65

3.2.5 – Base de dados, calibração e fechamento.....	69
3.2.6 – Premissas econômicas.....	72
3.3 – Síntese	74
4 Modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural	75
4.1 – Módulo de equilíbrio geral	75
4.1.1- Considerações complementares sobre o módulo de equilíbrio geral	81
4.2 – O módulo de desagregação estrutural.....	83
4.3 – Modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural	88
4.4 – Síntese	90
5 Construção da base de dados	92
5.1 – As bases de dados utilizadas neste trabalho.....	93
5.1.1 – IBGE	93
5.1.1.1 – Tabela de Recursos e Usos	94
5.1.1.2 – Pesquisa Industrial Anual	97
5.1.1.3 – Contas Econômicas Integradas.....	99
5.1.2 – O Balanço Energético Nacional, o Plano Decenal de Expansão de Energia e o Plano Nacional de Energia.....	99
5.2 – A classificação Eficind.....	100
5.3 – Compatibilizações.....	101
5.4 – Obtenção das séries de valores adicionados.	103
5.5 – Elaboração das Matrizes de Contabilidade Social.....	104
5.6 – Síntese	110
6 Cenários e Resultados	112
6.1 – Cenários.....	112
6.2 – Resultados do módulo MEG	116
6.3 – Análise dos parâmetros do módulo DES	118
6.3.1 – Análises dos parâmetros gerais.....	119
6.3.2 – Análises dos parâmetros específicos.....	121
6.4 – Projeções do modelo integrado MEG-DES.....	123
6.4.1 – Cenário BB	123
6.4.2 – Cenário BA.....	124
6.4.3 – Cenário AB.....	125
6.4.4 – Cenário AA.....	126
6.4.5 – Projeções para a indústria química	127

6.5 – Validação	131
6.6 – Síntese	135
7 Conclusões e recomendações	137
7.1 – Conclusões.....	137
7.2 – Recomendações	140
Referências bibliográficas	142
Anexo A - Premissas Adotadas na compatibilização das classificações	155
Anexo B - Tabela de correlação das classificações CNAE2, CNAE1, SCN 43, SCN51, BEN, Eficind.	156
Anexo C - Metodologia de desagregação dos dados: Formação de VAs - Valores Agregados.....	165
Anexo D - Valores agregados dos setores Eficind, de 2000 a 2013	166
Anexo E - Série histórica das matrizes de contabilidade social - SAM	169
Anexo F - Tabela de construção da SAM com suas origens da TRU e da CEI.....	176
Anexo G - Resultados do MEG	177
Anexo H – Cálculo de elasticidades constantes de substituição e de elasticidades preço de demanda para modelos de equilíbrio geral	179
Anexo I – Formulação de um modelo de equilíbrio geral como um problema de complementaridade.....	183
Anexo J - Discussões adicionais.....	196

1 Introdução

1.1 – Os modelos matemáticos de projeção da demanda de energia e o modelo proposto nesta tese para o setor industrial

O desenvolvimento de uma sociedade e o seu bem estar estão relacionados ao uso que se faz da energia. A energia utilizada para operação das máquinas e equipamentos de uso residencial, industrial ou comercial, bem como nos meios de transporte do cotidiano impulsiona o desenvolvimento econômico de um país. A revolução industrial, no século XVIII, representou um marco no aumento do consumo energético, baseando-se principalmente no uso do carvão. No século XIX, o desenvolvimento industrial esteve ligado ao domínio da utilização de energia. Após os dois choques do petróleo na década de 1970, com a forte alta de preços do barril do petróleo e a crise decorrente, o planejamento energético tornou-se de grande importância para delimitar critérios de segurança energética e ampliar a flexibilidade na oferta de energia. Um dos objetivos do planejamento energético é prever a demanda energética futura, para sinalizar os aumentos necessários na oferta de energia, proporcionando estimar a infraestrutura necessária para o desenvolvimento econômico e uma redução da vulnerabilidade da sociedade diante de determinados energéticos.

Os modelos energéticos têm sido importantes ferramentas para o planejamento energético. Eles possibilitam diversos tipos de análises, dentre elas as projeções de oferta e demanda de energia, auxiliando nas decisões de investimentos. Os investimentos em grandes projetos visando aumentos na oferta de energia precisam ser planejados com bastante antecedência pois, em geral, necessitam de alguns anos para serem implementados.

Até 1960 os modelos de projeção da demanda de energia eram econométricos. Os choques dos preços do petróleo na década de 1970 motivaram a criação de modelos de simulação, que permitem representar, nas projeções, descolamentos dos padrões verificados no passado entre consumo de energia, crescimento dos setores da economia e preços dos energéticos, entre outros. Tais descolamentos estavam ocorrendo naquela

década por conta de novas políticas públicas e estratégias empresariais voltadas para a substituição de derivados de petróleo.

Tentando juntar os pontos positivos das abordagens econométricas e de simulação, começaram a surgir, a partir da década de 1980, modelos mistos econométrico-simulação de projeção da demanda energética. Estes modelos possuem uma estrutura setorial mais desagregada e permitem simular rupturas de padrões históricos em cenários alternativos de desenvolvimento.

Modelos mistos econométrico-simulação, como o modelo de Desagregação Estrutural – DES - desenvolvido por Sharma (2009), projetam a demanda setorial de energia no longo prazo usando o consumo energético específico, ou a intensidade energética, juntamente com a participação setorial do valor agregado no Produto Interno Bruto - PIB, além de outras variáveis econômicas e tecnológicas explicativas. Uma desvantagem no uso do modelo DES para projeção da demanda de energia para dois ou mais setores econômicos é que interações econômicas setoriais não são capturadas por meio das simulações. Estas interações podem ter um efeito significativo na demanda de energia.

Visando suprimir esta limitação propõe-se, neste trabalho, a utilização do modelo DES integrado a um modelo de equilíbrio geral - MEG, em que a representação das interações econômicas setoriais e o estudo da interdependência dos setores é um dos objetivos da modelagem.

Os modelos de equilíbrio geral são construídos a partir de um ano base e representam a tecnologia existente nesse ano; eles não levam em conta possíveis tendências de inovação tecnológica nos anos futuros. As substituições entre insumos, incluindo insumos energéticos em alguns modelos, são regidas por preços e elasticidades de substituição, não levando em conta as restrições de substituição de energéticos no parque industrial existente no curto e médio prazo, ou possíveis inovações tecnológicas que venham a ocorrer.

Apesar desta limitação, os modelos de equilíbrio geral têm sido utilizados no setor energético, como, por exemplo, o modelo EFES- Energy (Perobelli *et al.*, 2009). Este modelo permite investigar a influência que mudanças na demanda intermediária, no uso do capital, nas preferências dos consumidores e nas quantidades e nos preços dos principais produtos da pauta de exportação brasileira exercem sobre os setores de petróleo e gás natural, energia elétrica, biomassa e no setor de energia como um todo. O EFES- Energy é

um modelo de equilíbrio econômico que, através da análise do comportamento relativo de componentes do modelo, produz resultados aptos para subsidiar políticas públicas e o planejamento energético.

A limitação supracitada dos modelos de equilíbrio geral é contornada ao se integrar este tipo de modelo (MEG), que segue uma abordagem “top-down”, com o modelo de desagregação estrutural (DES), que segue uma abordagem “bottom-up”, conforme proposto nesta tese para projeções da demanda de energia, no longo prazo, do setor industrial desagregado em subsetores energo-intensivos. Conforme (Hourcade, 2006) a abordagem híbrida top-down e bottom-up permite reduzir as limitações de cada uma das abordagens separadamente ampliando a representação econômica e tecnológica do modelo. Trata-se de um modelo misto econométrico-simulação, designado doravante como modelo MEG-DES, que incorpora as características de consistência macroeconômica e microeconômica do módulo de equilíbrio geral com a flexibilidade e possibilidade de se utilizar um elevado nível de desagregação setorial do módulo de desagregação estrutural.

No modelo MEG-DES:

- Há simulações de choques nos componentes da demanda final do módulo de equilíbrio geral, que influenciam os componentes da demanda intermediária e sua participação no PIB e nos valores adicionados da estrutura setorial da economia; e
- A projeção da demanda de energia e as substituições entre energéticos dos setores industriais são modeladas por regressões baseadas em uma análise retrospectiva e simulações associadas a análises prospectivas da demanda energética. Estas simulações utilizam uma estrutura de cenários alternativos de desenvolvimento, que podem incorporar expectativas de evolução tecnológica e novas políticas públicas que afetem esta demanda.

Os valores adicionados resultantes do módulo de equilíbrio geral são utilizados nos parâmetros correspondentes do módulo de desagregação estrutural, para se obter as projeções das demandas energéticas setoriais.

O modelo aqui proposto permite simular choques nas variáveis econômicas, bem como o efeito de diversas políticas energéticas ou econômicas, como inserção de impostos ou subsídios ou planos de eficiência energética, além de representar de forma detalhada o setor industrial. Este modelo também produz projeções de preço e quantidade para todos os bens nele representados, que podem auxiliar na análise dos resultados das simulações nos cenários de referência e alternativos.

Modelos energéticos são ferramentas essenciais no planejamento energético e para cada aplicação há modelos mais adequados do que outros. O modelo MEG-DES aqui proposto, que integra uma abordagem *top-down* do seu módulo MEG com uma abordagem *bottom-up* de seu módulo DES, foi concebido como um importante instrumento na realização de estudos visando projeções da demanda energética, no longo prazo, do setor industrial desagregado em diversos subsetores energo-intensivos. Ele garante consistência macro e microeconômica para as projeções dos diversos setores, além de possibilitar simulações da evolução tecnológica desses segmentos e dos impactos de novas políticas econômicas e energéticas que podem afetar sua demanda de energia.

1.2 – Objetivos deste trabalho

O objetivo deste trabalho é desenvolver o modelo MEG-DES para projetar, no longo prazo, a demanda de energia de segmentos energo-intensivos do setor industrial brasileiro e exemplificar a aplicação deste modelo na indústria química desagregada em alguns subsetores de elevado consumo energético.

Para atingir este objetivo, foi desenvolvida uma base de dados desagregada por cadeias produtivas para o setor industrial compatibilizando as estatísticas econômicas (Sistema de Contas Nacionais) e energéticas (Balanço Energético Nacional) governamentais disponíveis.

Projeções da demanda energética no longo prazo visam auxiliar tomadas de decisão estratégicas, por parte de órgãos governamentais e empresas, em um ambiente de elevado nível de incertezas. Uma ferramenta já tradicional no tratamento destas incertezas em estudos prospectivos de longo prazo é a técnica de cenários. Neste trabalho são definidos cenários de referência, que postulam a manutenção das tendências tecnológicas/energéticas e econômicas detectadas no estudo (cenários denominados “*Business as Usual*”), e cenários que visam explorar alternativas para os cenários de referência, envolvendo crescimento econômico mais elevado e implantação de novos programas de conservação de energia na indústria.

1.3 – Estrutura da tese

A tese está estruturada em sete capítulos, descritos a seguir.

No Capítulo 2 se discute a projeção da demanda energética no médio e longo prazo, com destaque para o setor industrial. O capítulo contempla uma revisão bibliográfica das principais famílias de modelos de projeção da demanda de energia para os horizontes mencionados. É feita uma revisão bibliográfica dos atuais planos energéticos do Brasil, que são o Plano Decenal de Energia 2026 e o Plano Nacional de Energia 2050, além do World Energy Outlook 2013, que contém um capítulo sobre o Brasil, bem como de projeções econômicas do Fundo Monetário Internacional para o país. Estes estudos são utilizadas para elaboração dos cenários de referência e alternativo. O capítulo é concluído com uma síntese dos cenários e das projeções, de interesse para estes trabalho, dos planos supracitados.

O Capítulo 3 aborda a Teoria de Equilíbrio Geral e introduz os conceitos de equilíbrio econômico. As condições para o equilíbrio econômico são apresentadas neste capítulo, assim como uma revisão bibliográfica de algumas aplicações de modelos de equilíbrio geral.

O modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) proposto neste trabalho é formulado no Capítulo 4. Na primeira parte deste capítulo é apresentada a metodologia do módulo de desagregação estrutural – DES. Na segunda parte é apresentada a formulação do modelo MEG-DES, proposto neste trabalho, bem como uma descrição de como é feita a associação dos módulos que o compõem.

No Capítulo 5 são apresentadas as principais bases de dados utilizadas na tese: as Tabelas de Recursos e Usos (TRUs) e as Pesquisas Industriais Anuais (PIAs), publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e o Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o Ministério de Minas e Energia (MME). A classificação dos setores industriais empregada no Projeto Eficind, desenvolvido pelo Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), com financiamento da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), foi adotada neste trabalho. Este capítulo também descreve a desagregação de dados utilizada e a compatibilização aproximada feita entre as classificações do IBGE e do BEN.

O Capítulo 6 descreve os cenários adotados e apresenta os resultados do modelo MEG-DES. A descrição dos cenários inclui os choques realizados no módulo MEG, cujas variáveis são escolhidas de forma balanceada através do uso da matriz de contabilidade social. São apresentadas e analisadas as projeções dos módulos MEG e DES para os subsetores analisados da indústria química brasileira. Apresenta-se ainda a validação do modelo MEG-DES comparando os resultados obtidos com a modelagem DES.

O Capítulo 7 traz as conclusões e os possíveis desdobramentos deste trabalho.

Dez anexos complementam a tese. No Anexo A são apresentadas as premissas adotadas na compatibilização das classificações. O Anexo B mostra a tabela de correlação das classificações CNAE2, CNAE1, SCN43, SCN51, BEN e Eficind, cuja metodologia é explicada na seção 5.3 do Capítulo 5. No Anexo C é apresentada a metodologia de desagregação dos dados sobre Valores Adicionados (VAs). A tabela com os valores agregados dos setores industriais e seus subsetores está no Anexo D. A série histórica das Matrizes de Contabilidade Social (SAM) compõe o Anexo E. A tabela com a construção das SAMs e suas origens é apresentada no anexo F. O anexo G apresenta os resultados do MEG. O Anexo H apresenta a metodologia de cálculo das elasticidades. O anexo I apresenta a formulação de um modelo de equilíbrio geral como um problema de complementaridade, e o anexo J apresenta discussões adicionais.

2 Projeção de demanda energética

Este capítulo se inicia com um histórico sobre alguns fatos notáveis da evolução da demanda e da oferta de energia no Brasil, enfatizando a importância do planejamento energético, de uma forma geral, e dos modelos energéticos, em particular. Apresenta-se, a seguir, uma classificação das famílias de modelos de projeção da demanda de energia, com destaque para os modelos de desagregação estrutural, equilíbrio geral e uma combinação dos dois, conforme proposto nesta tese. O capítulo se encerra com a apresentação dos cenários adotados e das projeções efetuadas com base nestes cenários em alguns planos importantes para o setor energético nacional - o Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE2026), o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE2050) e o World Energy Outlook 2013, além das projeções para a economia brasileira efetuadas em 2017 pelo Fundo Monetário Internacional.

2.1 – Histórico

A sociedade brasileira apresenta uma alta demanda por energia, tanto nos setores industrial e de serviços como nos setores residencial e de transporte, em face à limitação dos recursos energéticos disponíveis. Em alguns anos das duas últimas décadas, a demanda interna de energia cresceu muito devido ao crescimento econômico do país, ao crescimento da classe média, que passou a consumir mais eletricidade em suas residências e combustíveis no transporte, e também aos programas de universalização da energia elétrica. Atender a esta demanda crescente tem se tornado um grande desafio para o governo brasileiro. Apresenta-se nesta seção um breve histórico da situação energética do país, em grande parte baseado em Leite (2007), e de como, neste contexto, são primordiais o planejamento energético de longo, médio e curto prazos e a utilização de modelos energéticos.

Em 2016, 43,5% da oferta interna de energia do país era atendida por energia renovável, tornando o setor energético do Brasil um dos menos intensivos em carbono do

mundo. (EPE/MME, 2017). Por outro lado, grandes descobertas de petróleo e gás *off shore* fizeram do país um importante produtor de petróleo e gás no mundo.

Com os choques do petróleo na década de 1970 e o desejo de minimizar a dependência por combustíveis importados, o Brasil focou na geração elétrica em bases renováveis, usando principalmente hidroeletricidade e biomassa. A construção de uma matriz energética de bases renováveis, como a que se apresenta hoje, foi resultado de décadas de incentivos nestas áreas.

Dada a grande riqueza de recursos hídricos no Brasil, o aproveitamento deste potencial para a obtenção de energia elétrica foi uma decisão natural para as bases do parque gerador brasileiro. Recentemente o aproveitamento dos recursos hídricos tem sido mais difícil por precisar de grandes áreas alagadas causando grande impacto para a natureza e as comunidades de seu entorno.

No uso da biomassa, destaca-se o lançamento do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), em 1975, com o objetivo de incentivar a substituição do petróleo pelo etanol produzido a partir da cana de açúcar, seja através de uma mistura obrigatória de etanol à gasolina, ou pelo seu uso exclusivo como combustível de transporte. Anos mais tarde, em 2004, surgiu o programa de incentivo ao uso do biodiesel, inicialmente com enfoque na agricultura familiar, e também com a instituição de uma mistura mandatória ao óleo diesel. (Leite, 2007).

Em 2017 foi sancionada a lei 13576/2017 que cria a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida pela sigla RenovaBio, que deverá favorecer o aumento da produção de biocombustíveis no país com uma regulamentação que irá prever a compra, pelas distribuidoras de combustíveis, de Créditos de Descarbonização (CBIOS), emitidos por produtores e importadores de biocombustíveis. Esta lei visa contribuir para o atendimento das metas de redução de emissões de gases que causam o efeito estufa assumidas pelo governo brasileiro no acordo climático global de 2015, em Paris.

Em 2001, o país presenciou uma grave crise energética ocasionada pela falta de investimentos adequados no setor energético, combinado com um período prolongado de secas, expondo a vulnerabilidade de um parque gerador predominantemente hidroelétrico. O governo restringiu a demanda de eletricidade, implementando um programa de cotas no qual todos os consumidores teriam que cumprir um teto mensal, fixado em 80% do seu consumo no ano anterior, penalizando os consumos “excessivos”. Esta crise proporcionou repensar o modelo energético vigente na época e instituindo um novo modelo no qual as

empresas concessionárias distribuidoras de energia elétrica precisariam ter sua demanda de eletricidade de longo prazo garantida em leilões. A crise também proporcionou uma maior conscientização sobre o uso racional da energia elétrica por parte da população.

Em 2003 o governo brasileiro lançou o programa Luz Para Todos, com o objetivo de alcançar o acesso universal à energia elétrica em 2014. O programa forneceu uma conexão de energia elétrica, três lâmpadas e a instalação de duas tomadas em cada residência, e ofereceu descontos ao consumidor que consumisse até 220 kWh por mês. Este programa contribuiu para reduzir a parcela da população que vive em extrema pobreza, que caiu de 17% em 1990, para 6% em 2009. O Programa Luz Para Todos também contribuiu para o aumento da demanda de energia elétrica no país.

Em 2009 o país presenciou um “apagão” de energia elétrica, que deixou quatro estados do Brasil totalmente sem energia e outros quatorze estados parcialmente afetados pelo suprimento da mesma. Diversas causas foram apontadas, tais como situação climática adversa e problemas em linhas de transmissão, dentre outras. No entanto, o que este episódio revelou foi uma grande vulnerabilidade do sistema elétrico brasileiro.

No Brasil, o setor energético não tem sido a principal fonte de emissão de gases do efeito estufa, o que é incomum se comparado a outros países. As principais fontes de emissão desses gases têm sido os desmatamentos e a agropecuária. Estas emissões têm diminuído com os esforços para cumprir as metas de emissões assumidas nos diversos acordos do clima, como, por exemplo, na COP21, realizada em Paris em 2015.

De 2000 a 2011 o Brasil teve um crescimento médio do PIB de 3,5% ao ano. O país manteve um desempenho econômico razoável mesmo após a crise econômica global de 2008, até meados de 2014. Sua expansão econômica foi sustentada, neste período, pela sua demanda interna, expansão moderada de crédito, criação de emprego e crescimento da renda (EPE/MME, 2017). Desde 2015 a economia brasileira tem enfrentado dificuldades para crescer. Uma recessão se iniciou naquele ano; o PIB diminuiu 3.8% e 3.6% em 2015 e 2016, respectivamente, em relação aos anos anteriores (FMI, 2017).

A produção de energia elétrica no Brasil é fortemente baseada em fontes renováveis e o País possui uma matriz elétrica razoavelmente diversificada, mas usinas termelétricas de elevado custo operacional tem sido acionadas para garantir a segurança do suprimento elétrico, por conta de vários anos seguidos de baixa hidraulicidade nas usinas hidrelétricas do parque gerador nacional. Desde 2014 os preços da eletricidade aumentaram consideravelmente devido à falta de chuvas e aos níveis baixos dos reservatórios, e

também à operação de usinas termoelétricas que geram eletricidade a preços elevados. O encarecimento da energia elétrica tem aumentado os custos de produção da indústria e também do setor de serviços, impactando toda a economia do país.

Neste contexto, destaca-se a necessidade de um planejamento energético eficaz, que antecipe quais serão as necessidades energéticas da sociedade para os anos futuros e detecte quais serão os principais desafios e gargalos a serem superados. Os modelos energéticos são importantes ferramentas para o planejamento energético, auxiliando na tomada de decisão e na formulação de políticas públicas. Em particular, os modelos de projeção da demanda energética para o médio e longo prazos são essenciais pois, dado o longo tempo de construção de uma infraestrutura adequada, as decisões de investimentos no suprimento de energia devem ser antecipadas em muitos anos.

2.2 – Modelos de projeção de demanda de energia

Até a década de 1960, os modelos de projeção utilizados no planejamento energético trabalhavam de forma separada com a oferta e a demanda de energia. Os modelos eram setoriais e costumavam utilizar técnicas econométricas para a projeção da demanda e modelos de simulação para a projeção da oferta. Tais modelos, no entanto, não conseguiam representar uma ruptura das tendências históricas em suas projeções.

Com os choques dos preços do petróleo, em 1973 e 1979, surgiram novas técnicas de modelagem de sistemas energéticos. Modelos multisetoriais e globais, assim como modelos integrados de demanda e oferta, passaram a ser mais utilizados, visando auxiliar na busca de alternativas para diminuir a dependência de derivados de petróleo.

Foi desenvolvida também, nos países desenvolvidos, a categoria dos modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação para a projeção da demanda energética. Estes modelos requerem a realização de levantamentos de campo para determinar as distribuições, por usos finais e/ou tipos de equipamentos, da demanda de energia. Tais modelos se mostraram convenientes para simular rupturas de padrões estabelecidos de consumo de energia, como estavam ocorrendo na época (Bajay, 1983).

A competição criada com os novos modelos de projeção da demanda energética provocou grandes avanços metodológicos no uso dos modelos econométricos (Griffin,

1990), incluindo formulações teóricas mais elaboradas, envolvendo ajustes parciais ao longo do tempo e variáveis explanatórias mudas¹. O cruzamento de dados em séries temporais com dados em seção transversal passou a ser utilizado para resolver os frequentes problemas de multicolinearidade ocasionados pelo emprego de modelos com múltiplas variáveis e/ou variáveis defasadas no tempo. Estas formulações mais elaboradas dos modelos econométricos passaram a requerer métodos estatísticos mais sofisticados para a estimação de seus parâmetros, tais como o método dos mínimos quadrados generalizado e o método da máxima verossimilhança (Bajay, 2014).

De acordo com a abordagem adotada, os modelos energéticos podem ser classificados como “*top-down*”, ou “*bottom-up*” (Bhattacharyya, 2007). Um modelo do tipo *top-down* detalha cada nível do sistema econômico/energético estudado, do mais alto ao mais baixo, e aplica hipóteses macroeconômicas e técnicas econométricas em dados históricos do consumo, preços, renda, etc., para projetar a demanda de bens e serviços e a demanda e/ou oferta dos principais setores de energia. Um modelo do tipo *bottom-up* parte no sentido inverso ao de um modelo do tipo *top-down*, pois, a cada etapa da modelagem, os sistemas originais tornam-se subsistemas de um sistema maior; estes modelos permitem uma descrição detalhada das tecnologias relacionadas com o consumo ou a oferta de energia.

Todos os tipos de modelos aplicados a sistemas energéticos possuem vantagens e desvantagens e, usualmente, se escolhe o mais adequado deles para as finalidades específicas de cada exercício de projeção.

2.2.1– Famílias de modelos de projeção

2.2.1.1- Modelos econométricos

Os modelos econométricos realizam projeções da demanda de energia utilizando relações econométricas ajustadas com base em séries históricas de dados e tendo como

¹ Variáveis explanatórias mudas são também conhecidas, na estatística, como variáveis “dummy” (palavra inglesa). Elas, em geral, assumem os valores 0 ou 1 e são usadas em relações econométricas para diferenciar períodos históricos de comportamento muito distinto, como, por exemplo, períodos de guerra e períodos de paz, ou então, regiões, ou países de comportamentos bastante diferentes dos demais, quando se trabalha com dados históricos compartilhados de várias regiões, ou países.

variáveis explanatórias grandezas econômicas como renda, investimento, valor adicionado, preços, etc. As relações funcionais empregadas podem ser simples regressões empíricas, ou elaboradas funções de demanda ou de produção, como a translog, com mecanismos de ajuste parcial do estoque de equipamentos ao longo do tempo, que exigem técnicas estatísticas avançadas para a estimação dos parâmetros dos modelos (Bajay, 1983). Estes modelos são mais adequados para a projeção da demanda energética no curto e médio prazos e, em geral, não são adequados para representar possíveis rupturas futuras em padrões tecnológicos ou econômicos consolidados.

2.2.1.2- Modelos de simulação

Os modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação foram desenvolvidos, em geral, para projeções a longo prazo e para modelar possíveis rupturas em padrões tecnológicos ou econômicos. Os modelos de simulação partem da situação presente e, utilizando relações técnico-econômicas desagregadas setorialmente entre o consumo de energia por usos finais e parâmetros que determinam este consumo, projetam valores futuros da demanda energética com base na evolução esperada destes parâmetros.

Esta categoria de modelo de projeção também inclui os modelos que utilizam matrizes de insumo-produto, estáticas ou dinâmicas, que mesclam dados econômicos típicos destas matrizes com dados sobre fluxos de energia (Meier, 1984).

Diferente dos modelos econométricos, os modelos de simulação não utilizam séries históricas para suas variáveis explanatórias. Em geral só possuem dados para um ano de referência, o mais próximo possível do presente. Estes modelos projetam os parâmetros escolhidos para os momentos desejados no futuro. Por não se preocupar em observar e analisar o comportamento passado destas relações, as projeções efetuadas com este tipo de modelo frequentemente têm se mostrado irrealistas (Bajay, 1983).

O modelo MEDEE - *Model for Long-Term Energy Demand Evaluation* (Chateau and Lapillonne, 1978), desenvolvido no final da década de 1970 no Institut Economique et Politique de l'Energie, em Grenoble, na França, foi um dos primeiros modelos de simulação a ser amplamente utilizado em diversos países, inclusive no Brasil. A versão mais recente do modelo MEDEE é denominada MedPro e sua licença pertence à empresa Enerdata (2015).

O Centro de Estudos em Energia (Energie) da COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro elaborou, no final da década de 1990, o modelo de simulação denominado MIPE (Modelo Integrado de Planejamento Energético) (Tolmasquim e Szklo, 2000). Os módulos do MIPE que projetam a demanda de energia foram utilizados no Ministério de Minas e Energia- MME para as projeções da matriz energética nacional em 2002 e pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, na elaboração do Plano Nacional de Energia 2030, publicado em 2007 (EPE/MME, 2007).

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) desenvolveu o modelo de simulação MAED (*Model for Analysis of Energy Demand*), para ser utilizado junto com o modelo Message, de otimização da oferta de energéticos, em projeções da demanda e da oferta de energia em países membros da agência (IAEA, 2006). Estes dois modelos foram utilizados no MME, em meados da década de 2000, em projeções da matriz energética nacional.

2.2.1.3- Modelos mistos

Tentando juntar os pontos positivos de ambas as abordagens, começaram a surgir, a partir da década de 1980, modelos mistos de projeção da demanda energética. Estes modelos possuem, em geral, uma estrutura setorial bastante desagregada, permitem a simulação dos “descolamentos” da oferta e demanda de energia, em cenários alternativos de desenvolvimento, mas precedem a análise prospectiva da demanda energética por uma análise retrospectiva. Eles utilizam equações econométricas para capturar a tendência passada dos parâmetros adotados nos modelos. Estas tendências são particularmente úteis na montagem de cenários de referência, denominadas “*business as usual*” - BAU, na literatura internacional, que servem de balizadores na montagem de cenários alternativos e auxiliam na análise das projeções nestes cenários.

Os modelos mistos de projeção utilizam relações econométricas para estabelecer cenários tendenciais ou de referência e para explicar a evolução de algumas variáveis. Estes modelos contam com uma estrutura de projeção bastante desagregada (por uso final de energia e tipos de equipamentos), compatível com a quantidade e qualidade dos dados disponíveis. Estes modelos também empregam vários tipos de simulações em cenários alternativos para representar possíveis rupturas futuras em relação aos padrões tecnológicos, macroeconômicos, sociais e políticos vigentes. Os modelos mistos são uma

tentativa de minimizar as restrições intrínsecas aos modelos puramente econométricos e aos modelos de simulação, incorporando algumas de suas qualidades. O modelo de desagregação estrutural, que é um dos módulos do modelo proposto nesta tese, integra a categoria dos modelos mistos de projeção da demanda energética.

2.2.2 – O modelo de desagregação estrutural

O modelo de desagregação estrutural (DES) é baseado na análise histórica de indicadores econômicos e técnicos considerados importantes para a composição da demanda de energia. Através de uma análise retrospectiva destes indicadores detecta-se suas tendências e projeta-se qual será a tendência no futuro. Neste tipo de modelagem é possível simular rupturas das tendências detectadas e analisar diferentes cenários propostos. Um estudo detalhado do modelo de desagregação estrutural é apresentado na seção 4.2.

O modelo DES é um modelo misto de projeção da demanda energética. Versões mais simples deste tipo de modelo, com menos parâmetros, têm sido utilizados por pesquisadores do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE, da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, em vários outros projetos, conforme relatado por Sharma (2009), Sharma *et al.* (2010) e Bajay *et al.* (2014).

Uma grande limitação do modelo de desagregação estrutural é que ele não garante consistência macroeconômica. Por exemplo, ao utilizar projeções setoriais com base em tendências históricas, pode-se chegar a um crescimento infactível para a economia como um todo.

2.2.3 – Modelos de equilíbrio geral

Entre os modelos energéticos integrados de demanda e oferta, destacam-se os modelos de equilíbrio, que se desenvolveram tanto na forma de modelos de equilíbrio parcial ou setorial, como na forma de modelos de equilíbrio geral. Apesar das vantagens

teóricas desta segunda categoria, os modelos de equilíbrio parcial têm sido mais empregados, até agora, no setor energético, devido à possibilidade de se representar as características, sobretudo tecnológicas e econômicas, deste setor com os detalhes necessários aos estudos, limitado tão somente às restrições inerentes ao nível de agregação dos dados disponíveis (Bajay, 2004).

Os modelos de equilíbrio geral (MEG) têm sido bastante usados para a análise de mudanças climáticas e emissões de carbono desde 2005, quando o Protocolo de Quioto estipulou metas para a mitigação dos gases de efeito estufa. Modelos deste tipo vêm sendo desenvolvidos para estudar os impactos das mudanças climáticas e para simular políticas econômicas que lidam com o problema das externalidades associadas às emissões de gases de efeito estufa. Vários destes modelos têm visado quantificar as emissões de gases de efeito estufa, simular as negociações de créditos de carbono e analisar instrumentos de aplicação de políticas como o MDL- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Os modelos de equilíbrio geral² se baseiam nos fluxos de valores que permeiam todos os setores econômicos impossibilitando, por conseguinte, simulações detalhadas de aspectos técnicos do consumo de energia, como, por exemplo, a consideração de potenciais ganhos de eficiência energética em processos industriais. Aspectos técnicos do consumo de energia em processos industriais são melhores avaliados quando se considera os produtos destes processos em unidades físicas, como, por exemplo, em toneladas, utilizando o indicador de “consumo energético específico”. Uma revisão da teoria de modelos de equilíbrio geral e sua revisão bibliográfica é apresentada no capítulo 3.

2.2.4 – Um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural

Visando aproveitar os benefícios do modelo de equilíbrio geral e do modelo de desagregação estrutural e suprir algumas das deficiências de ambos, propõe-se, nesta tese, trabalhar com um modelo híbrido, que aborde os aspectos técnicos de cada setor, como consumo específico e/ou intensidade energética, para as projeções de energia, e que, ao

² De acordo com (Hourcade, 2006) “devido à falta de explicitação tecnológica, modelos convencionais top-down tem tido a tendência de sugerir que esforços para substituir formas específicas de energia por outras para cumprir objetivos políticos ou ambientais seriam relativamente dispendioso (isto é, o potencial econômico para transformação tecnológica seria de uma certa forma limitado pelas elasticidades obtidas historicamente)” tradução da autora.

mesmo tempo, garanta consistência macroeconômica através de análise das relações intersetoriais de toda a economia.

Para isso, desenvolveu-se um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural denominado MEG-DES, que utiliza os setores econômicos desagregados de forma a possibilitar projeções de sua demanda energética ao mesmo tempo em que se encontram novos pontos de equilíbrio entre ofertas e demandas dos bens e serviços nos diversos cenários assumidos. Obtém-se, como resultado do módulo de equilíbrio geral, variações de preços e quantidades produzidas para os diversos setores econômicos que, quando colocados no módulo de desagregação estrutural, são insumos consistentes para as projeções da demanda energética de cada segmento analisado da indústria brasileira.

2.3 – Planos de energia para o Brasil: cenários e projeções

O Ministério das Minas e Energias do Brasil (MME), através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME, publica dois planos de expansão do setor energético brasileiro: o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), que tem um horizonte de projeção de 10 anos, e o Plano Nacional de Energia (PNE), que é um plano, indicativo, de longo prazo. O PNE 2030, publicado em 2007, contempla um horizonte de projeção que se estende até 2030, apontando as principais diretrizes para a expansão do setor energético. Em atualização ao PNE 2030, a EPE está elaborando o PNE 2050, que estende o horizonte das projeções até 2050, mas que ainda não foi publicado em sua íntegra. Estes planos contemplam a elaboração de cenários para a economia brasileira, nos quais suas projeções são baseadas.

Esses planos de expansão, incluindo as projeções de mercado, possuem um caráter prospectivo, empregando, em geral, a técnica de cenários. Logo, o planejamento da oferta no longo prazo é indicativo, transformando-se, eventualmente, em determinativo só no curto e médio prazo, na formatação dos leilões de usinas de potência, linhas de transmissão, áreas de exploração de petróleo e gás, e compra de biodiesel.

O objetivo do uso da técnica de cenários em estudos de mercado de longo prazo não é se tentar prever no futuro o que, de fato, irá acontecer, mas sim explorar os possíveis impactos, na demanda energética, por exemplo, se certas configurações futuras ocorrerem,

no que diz respeito à estrutura e ao desempenho da economia, e eventuais novas políticas públicas (Bajay, 2006).

Na elaboração de cenários, é necessário detectar as tendências mais marcantes no passado para servir de referência para possíveis trajetórias futuras. A formulação das hipóteses dos cenários pode ser feita através de um estudo retrospectivo das séries históricas das variáveis relacionadas ao tema abordado. É necessário levar em consideração os possíveis avanços da ciência e da tecnologia para considerar, no futuro, possíveis rupturas das tendências detectadas.

2.3.1 – Plano Decenal de Expansão de Energia 2026

O plano decenal é um instrumento de planejamento da expansão da oferta de energia para o Brasil, no médio prazo, que visa integrar a oferta e demanda energética de forma a garantir o suprimento energético necessário a um custo baixo e de forma sustentável ao meio ambiente³.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026) trabalha com o horizonte de planejamento que vai de 2017 a 2026. É um plano indicativo que apresenta as estratégias de desenvolvimento do setor energético que serão adotadas pelo governo federal, fornecendo subsídios para os setores da economia direcionarem os seus investimentos.

O PDE 2026 trabalha com as incertezas inerentes às projeções, tentando quantificá-las na forma de cenários. Construiu-se uma trajetória de referência, a ser realizada com um determinado conjunto de incertezas, que formam cenários do tipo *what-if*.

Nas premissas sociodemográficas, estima-se que a população brasileira cresça a uma taxa média de 0,6% a.a., no horizonte decenal. O número de domicílios particulares irá manter a tendência de crescimento apresentada nos últimos anos. Quanto ao número de habitantes por domicílio, espera-se que ocorra uma redução de 3,1 em 2017 para 2,8 em 2026. Estas premissas influenciam fortemente o consumo de energia do País.

³ O PDE 2026 tenta maximizar a sustentabilidade, do ponto de vista ambiental, cumprindo as metas assumidas pelo governos nas convenções do clima, minimizando os custos dos investimentos necessários para que estas metas sejam cumpridas.

O cenário macroeconômico de referência adotado considera que a economia mundial apresentará um crescimento médio de 3,7% ao ano de 2017 a 2021, e de 3,9% ao ano de 2022 a 2026. Entre os países desenvolvidos, espera-se um bom desempenho da economia americana. Já entre os países emergentes espera-se que a China mantenha a sua importância no mercado mundial, mesmo com uma desaceleração no ritmo de crescimento de sua economia.

A economia brasileira, devido ao crescimento da economia mundial e à existência de capacidade ociosa interna, deverá apresentar, segundo o PDE 2016, uma retomada do crescimento econômico, no curto prazo. Além disso, a redução da inflação permitirá a redução da taxa Selic⁴, o que abrirá caminhos para melhorar os investimentos no País e aumentar a demanda interna. Um desempenho econômico nacional forte e sustentável no médio e longo prazo exigirá uma melhoria nos gargalos existentes, necessitando de maiores investimentos em infraestrutura, educação e tecnologia. A expectativa quanto à taxa de investimento do País é que fique em torno de 21% do PIB, ligeiramente abaixo do previsto em PDEs anteriores. Ainda assim, esta expectativa continua otimista, visto que nas últimas décadas o investimento total foi de 17% a 18% do PIB. O PDE 2026 não especifica quanto deste investimento viria do governo e quanto viria da iniciativa privada, diferente de suas versões anteriores. O atual ambiente de instabilidade política e falta de confiança no governo não é propício para altos investimentos vindos da iniciativa privada.

A taxa de crescimento do PIB no PDE 2026 é estimada para dois cenários: um de referência e outro de sucesso (Tabela 2.1). O cenário de sucesso levaria a uma retomada de crescimento mais rápida da economia brasileira. Dentre as hipóteses adotadas no cenário de sucesso, uma das principais considerações seria criar um ambiente de maior previsibilidade e confiança, que poderia ser alcançado por meio da redução da instabilidade política, condução eficaz das contas públicas e realização de reformas econômicas. Em um contexto de maior credibilidade, os empresários tenderiam a ampliar seus investimentos, o que traria impactos relevantes sobre o crescimento econômico.

⁴ Taxa Selic é a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais (Banco Central do Brasil, 2018).

Tabela 2.1: Taxas de crescimento do PIB em dois cenários nacionais e um cenário mundial do PDE 2026, em %.

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Cenário nacional de referência	0,5	1,8	2,1	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	3,0
Cenário nacional de sucesso	1,7	2,8	3,1	3,2	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Cenário mundial	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9

Fonte: Elaboração própria baseada em PDE2026

No cenário de referência, o primeiro quinquênio apresenta um crescimento fraco, devido à fraca demanda decorrente da permanência do desemprego, das restrições de crédito e da baixa confiança dos consumidores e dos investidores. O segundo quinquênio apresenta uma retomada da demanda interna, especialmente nas indústrias de transformação e da construção civil. Setores primário-exportadores, como a agropecuária e alguns setores da indústria extrativa (minério de ferro e petróleo) e de transformação (como celulose) devem ser beneficiados pela sua competitividade, apresentando um crescimento mais vigoroso ao longo de todo o horizonte.

Quando comparado com o cenário de referência traçado pelo FMI, descrito mais adiante neste capítulo, nota-se que o cenário de referência do PDE 2026 é, na realidade, bastante otimista. O FMI, na sua publicação *World Economic Outlook* (WEO) de julho de 2017, considera para 2018 um crescimento do PIB no Brasil de 1,3%, enquanto que o PDE 2026 prevê um crescimento de 1,8%. Para os anos de 2019 a 2022 o FMI prevê um crescimento de 2% a.a., enquanto o PDE 2026 prevê para este período um crescimento médio de 2,6% a.a.. O FMI também apresenta uma descrição mais detalhada dos investimentos públicos e privados necessários para manter tais taxas de crescimento do PIB. Este trabalho toma por base o cenário econômico de referência adotado pelo FMI, por julgá-lo com hipóteses mais próximas à realidade atual do Brasil.

O ano de 2016 foi marcado por um desempenho econômico decrescente, ou mesmo negativo em diversos setores da economia. A indústria segue um movimento de redução de sua participação no PIB nacional: em 1996 sua participação era de 30% e em 2016 sua participação foi de 25%.

De acordo com o PDE 2026, o consumo final de energia crescerá à taxa média de 1,9% anuais entre 2016 e 2026, aumentando de 256,9 Mtep (ou 10⁶ tonelada equivalente de petróleo) para 309,1 Mtep. A matriz energética brasileira, em 2016, era composta por 46% de energia renovável; o Plano projeta que, em 2026, essa parcela deve aumentar para 48%.

A intensidade energética da economia deve se reduzir, no período decenal, de 0,073 tep/(10⁶R\$(2010)) em 2016 para 0,070 tep/(10⁶R\$(2010)) em 2026.

A Tabela 2.2 apresenta a projeção do consumo energético dos setores da economia no período decenal, juntamente com sua variação no período.

Tabela 2.2: Projeção do consumo energético entre 2016 e 2026 dos setores econômicos do Brasil.

Setor	2016		2026		variação no período	variação ao ano
	Mtep	%	Mtep	%		
Agropecuário	11.30	4.40%	12.98	4.20%	14.85%	1.39%
Residencial	24.92	9.70%	29.98	9.70%	20.32%	1.87%
Comercial	8.48	3.30%	12.36	4.00%	45.84%	3.85%
Transporte	82.72	32.20%	91.49	29.60%	10.60%	1.01%
Setor Energético	26.72	10.40%	36.47	11.80%	36.52%	3.16%
Público	4.11	1.60%	4.95	1.60%	20.32%	1.87%
Não Energético	17.73	6.90%	20.40	6.60%	15.09%	1.42%
Industrial	80.92	31.50%	100.77	32.60%	24.52%	2.22%
Outros	23.38	9.10%	24.42	7.90%	4.45%	0.44%
Cerâmica	14.39	5.60%	16.07	5.20%	11.72%	1.11%
Papel e celulose	38.02	14.80%	51.62	16.70%	35.77%	3.10%
Têxtil	2.83	1.10%	3.40	1.10%	20.32%	1.87%
Alimentos e bebidas	71.68	27.90%	88.71	28.70%	23.77%	2.16%
Química	18.24	7.10%	20.71	6.70%	13.54%	1.28%
Não ferrosos e outros da metalurgia	17.47	6.80%	21.95	7.10%	25.63%	2.31%
Mineração e pelotização	9.76	3.80%	11.44	3.70%	17.15%	1.60%
Ferro-ligas	3.60	1.40%	4.33	1.40%	20.32%	1.87%
Ferro-gusa e aço	44.70	17.40%	51.62	16.70%	15.48%	1.45%
Total (10⁶ tep) ou Mtep	256.90	100.00%	309.1	100.00%	20.32%	1.87%

Fonte: Elaboração própria baseado em PDE2026

O setor comercial apresenta a maior expectativa de crescimento no seu consumo energético, variando de 8,48 Mtep em 2016 para 12,36 Mtep em 2026, representando um crescimento de 3,85% ao ano. A EPE/MME projeta que a demanda total de energia do setor de transportes aumentará, em média, 1,01% a.a. entre 2016 e 2026. Espera-se que o consumo total de energia no setor residencial cresça 1,9% ao ano durante esta década, e o seu consumo de energia elétrica aumente 3,9% ao ano. Projeta-se que o setor público também apresente um crescimento no seu consumo energético de 1,9% ao ano no período decenal.

Segundo o PDE2026, o setor industrial deverá apresentar uma variação no consumo energético de 2,22% ao ano no período decenal, com o seu consumo variando de 80,92 Mtep para 100,77 Mtep em 2026. Dentro do setor industrial, o setor de papel e celulose é o que apresenta a projeção de maior aumento no consumo de energia, com um crescimento de 3,10% ao ano, seguido pelo setor de não ferrosos e outros da metalurgia com um crescimento de 2,31% ao ano. As projeções para os demais setores abordados no PDE2026 estão indicadas na Tabela 2.2.

O PDE 2026 sofreu mudanças consideráveis quando comparado com os planos anteriores, o PDE2024 e o PDE2023. Os cenários abordados no PDE 2026 são menos otimistas e mais factíveis de se concretizarem do que os cenários abordados nos planos anteriores. No entanto, falta no PDE 2026 uma melhor descrição a respeito das hipóteses econômicas adotadas concernentes à balança comercial, exportações e importações, bem como informações sobre as parcelas de investimento público e privado. Se o PDE2026, como uma publicação do governo, indicasse intenções de investimento das instituições governamentais, abriria espaço para maior confiança e investimentos maiores por parte da iniciativa privada.

O PDE 2026 tem como um de seus objetivos compatibilizar as emissões de gases que causam o efeito estufa (GEE) associadas à produção e do uso de energia com as diretrizes propostas na NDC (*Nationally Determined Contribution*) brasileira⁵, apresentada às Nações Unidas na COP-21, em 2015. Em sua NDC, o governo brasileiro propôs a redução de 37% de suas emissões em 2025 (para todo o conjunto da economia), tendo como base as emissões de 2005. Especificamente no setor de energia, o texto da NDC brasileira apresenta contribuições indicativas para 2030 que incluem o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética e ganhos de eficiência no consumo de energia.

2.3.2 – Plano Nacional de Energia 2050

O Plano Nacional de Energia 2050, ou PNE 2050, é um estudo prospectivo de longo prazo do governo federal com uma visão de planejamento integrado de energia, de caráter indicativo, e que ainda está em processo de elaboração. No entanto, a EPE já

⁵ Em 2015, o Brasil apresentou na COP-21 sua iNDC, que foi ratificada na COP-22 em 2016, em Marrakech, tornando-se NDC.

divulgou alguns estudos econômicos e de projeção de mercado preliminares do PNE2050 (EPE, 2014a, EPE2014b). O estudo de planejamento energético de longo prazo anterior do governo federal foi o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), que foi lançado em 2007. Nos estudos do PNE 2050 é apresentado um cenário econômico de longo prazo, suas premissas demográficas e setoriais, além das perspectivas de preços de petróleo e gás natural para o longo prazo.

O objetivo do PNE 2050 é antecipar tendências e suas oportunidades e ameaças, as quais necessitam de posicionamento estratégico no longo prazo e de planos de ação no curto e médio prazo, como o Plano Decenal de Energia.

No âmbito mundial, admite-se, como premissa demográfica, que, até 2050, o crescimento da população mundial será de 0,8% ao ano, atingindo 9,3 bilhões de pessoas, das quais 32% estarão na China e Índia. Até 2020, estima-se que os Estados Unidos da América (EUA), se tornarão autossuficientes em energia e, até 2030, se transformarão em um grande produtor e exportador de petróleo. Países como Canadá, Venezuela e Brasil aumentarão sua produção de petróleo, o que irá tirar o foco do Oriente Médio como principal exportador de petróleo. As projeções para o preço do petróleo tipo Brent são de que, até 2020, se manterá no patamar de US\$80/ barril, atingindo cerca de US\$97/barril em 2050.

No âmbito nacional, no que se refere às premissas demográficas, estima-se que a população brasileira crescerá a um ritmo cada vez menor e começará a declinar a partir de 2040, alcançando, em 2050, cerca de 225 milhões de habitantes. Com um menor número de jovens e o aumento da população idosa, haverá menor crescimento da população economicamente ativa, o que aumentará a pressão sobre os gastos previdenciários.

O PNE 2050 apresenta as projeções de crescimento para o PIB nacional em um intervalo que varia de um limite inferior a um limite superior. O crescimento do PIB, no pior cenário ou limite inferior, apresenta uma taxa média de 3,6% ao ano, e no melhor cenário, uma taxa média de 4,05% ao ano. Na Tabela 2.3 são apresentados os valores para o crescimento do PIB por intervalo. Apresenta-se também, a taxa de crescimento do PIB per capita.

O PNE 2050 não considerou, na formulação de suas hipóteses de crescimento do PIB, a forte crise econômica ocorrida no Brasil a partir de 2015, que ocasionou reduções do PIB em 2015 e 2016 e uma fraca recuperação da economia em 2017. Atualizações do PNE 2050, devem considerar novos valores para este período.

Tabela 2.3: Projeções das taxas de crescimento do PIB e do PIB per capita, no PNE 2050.

		2014-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050
PIB do Brasil	limite superior	4,2	4,5	4,0	3,5
	limite inferior	3,8	4,1	3,5	3,0
PIB per capita	limite superior	3,4	4,0	3,9	3,5
	limite inferior	3,0	3,6	3,3	3,1

Fonte: Elaboração própria baseado em PNE 2050

Para manter uma taxa de crescimento robusta e sustentável, são necessários investimentos. Conforme Pastore et al. (2010), para se manter uma taxa de crescimento de 4,5% ao ano, é necessário investir cerca de 20% do PIB (EPE/MME, 2014 a). Assim como ocorre no PDE 2026, o PNE 2050 assume uma taxa de investimento muito alta. Analisando a série histórica de investimentos do país de 2000 a 2012, o Brasil não conseguiu atingir a taxa de 20% do PIB em seus investimentos, que tem se situado em torno de 18%. Assume-se, no PNE 2050, que a maior parte dos investimentos brasileiros serão de origem privada, diminuindo as responsabilidades do governo em investimento público.

O PNE 2050 assume que “o país consolida seu arcabouço macroeconômico baseado em câmbio flutuante, metas de inflação e superávit primário, tornando a economia mais sólida. Assim, o crescimento do país reflete as melhorias no quadro institucional, a estabilidade macroeconômica, as perspectivas de maior investimento e a elevação da produtividade da economia”. Na verdade, este cenário se mostra muito diferente do apresentado nos últimos anos, nos quais o dólar atingiu suas maiores cotações, a inflação esteve alta e houve até “superávit primário negativo”, conforme definição do próprio governo. Em 2017, a situação econômica se mostrou um pouco mais estável. Talvez, no médio prazo, essas premissas ainda venham a se consolidar.

À medida que o PIB per capita se eleva, estima-se que o setor de serviços aumentará a sua participação no PIB, em detrimento da indústria e da agropecuária. O PNE 2050 projeta que, o setor de serviços terá uma participação de 69,7% no PIB, a indústria será responsável por 24,2% do PIB e o setor agropecuário terá uma participação de 6,1% do PIB, em 2050. A agropecuária terá um crescimento médio acima do PIB devido ao aumento de renda da população brasileira e devido ao aquecimento da cadeia de biocombustíveis, inserida neste setor. Na indústria, espera-se um crescimento abaixo do PIB até 2025; contudo, o seu crescimento será estimulado pelos setores de extrativa mineral e construção civil.

Os estudos preliminares do PNE 2050 não vislumbraram em suas projeções a crise financeira que acometeu a Petrobrás em 2015, com a conseqüente queda de suas ações, juntamente com o corte dos investimentos, o que ocasionará queda na produção do setor de extrativa mineral, ao contrário do cenário projetado. A crise brasileira de 2015 também gerou cortes nos investimentos do PAC- Programa de Aceleração do Crescimento, desaquecendo o setor de construção civil. Estas crises podem comprometer as projeções setoriais preliminares do PNE2050.

A demanda total de energia no período de 2013 a 2050 apresentará, segundo as projeções do PNE 2050, um crescimento de 2,2% ao ano, alcançando 605 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2050. Destaca-se o aumento da participação de gás natural e de eletricidade na matriz energética, que alcançarão 11,2% e 23,1%, respectivamente. Os derivados de petróleo ainda representarão a maior parcela da matriz energética; sua participação relativa, no entanto, deverá diminuir, de 43,7% em 2013 para 39,4% em 2050.

O setor industrial deverá ter a maior participação no consumo energético total em 2050, com 33,4%, seguido pelos setores de transporte com 29,1%, o setor energético com 9,5%, consumo final não energético com 9,2%, setor residencial com 7,3%, setor comercial com 6,7% e setor público com 1,2%. Os setores industrial, de transportes, agropecuária, público e residencial terão sua participação reduzida quando comparadas a 2013. Os setores que deverão aumentar a sua participação no consumo energético serão o comercial, o energético e o consumo final não energético.

Observa-se, no período projetado, uma redução da elasticidade-renda no horizonte de estudo, alcançando 0,62 em 2050. Isto significa que a energia se tornará um bem mais inelástico à renda.

O PNE 2050 estima que o crescimento da atividade industrial será influenciado pela expansão da construção civil e de setores relacionados, como cimento, vidro, aço, cerâmica e outros, para suprir os gargalos de infraestrutura do país. O Plano projeta que o setor industrial, tal como a economia brasileira como um todo, irá aumentar a sua demanda de energia em 2,2% ao ano no período analisado, alcançando, em 2050, 202 milhões de tep. Em 2050, os setores industriais que terão maior representatividade na demanda energética industrial serão: alimentos e bebidas, com 25,5%, ferro gusa e aço com 15,5% e papel e celulose com 13%. Os principais energéticos utilizados pelo setor industrial em 2050

deverão ser a eletricidade, com 22% da demanda energética industrial total, os produtos da cana, com 16,5%, e o gás natural, com 15,6%.

Dentre os energéticos que irão compor a matriz energética de 2050, cabe destacar o gás natural que, devido ao cenário de grande oferta deste energético oriundo do pré-sal, apresentará um crescimento médio de consumo de 3,1% ao ano.

A intensidade da energia elétrica industrial é projetada como decrescente até 2050, saindo de 0,122 tep/10³R\$ de 2010, em 2013, e alcançando 0,088 tep/10³R\$ de 2010, em 2050. O cálculo é feito através da metodologia DIVISIA, que calcula a evolução da intensidade energética mantendo constante a estrutura do valor adicionado do ano base. Considera-se, no horizonte de projeção, a expansão de segmentos intensivos em tecnologia e com maior geração de valor agregado.

2.3.3 – World Energy Outlook 2013

O World Energy Outlook (WEO) é um plano indicativo de longo prazo elaborado pela Internacional Energy Agency (IEA). A cada dois anos o World Energy Outlook detalha um determinado país ou região de importância para a política econômico-energética mundial. No WEO 2013 a IEA apresentou, nos capítulos de 9 a 12, estudos com as perspectivas energéticas para o Brasil até 2035 (IEA, 2013). Estes capítulos contêm projeções da demanda e da oferta de energia no país e dos investimentos necessários para viabilizar estas projeções.

A intensidade energética do Brasil (consumo de energia / PIB) é de 0,11 tep/US\$, comparável à média dos países da OCDE⁶, que é de 0,12 tep/US\$. A baixa intensidade energética do Brasil é justificada pela baixa quantidade de energia usada para aquecimento e arrefecimento, e também devido à participação hidroelétrica na geração de energia, com baixíssimas perdas de conversão.

As projeções para o Brasil foram elaboradas utilizando três cenários: o Novo Cenário de Políticas, considerado o cenário *Business as Usual* (BAU), que leva em consideração as políticas públicas existentes com modestas variações; o Cenário de

⁶ A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), é um foro composto por 35 países, dedicado à promoção de padrões convergentes em vários temas, como questões econômicas, financeiras, comerciais, sociais e ambientais (Itamaraty, 2018).

Políticas Atuais, considerado um cenário pessimista; e o Cenário 450⁷, que propõe medidas mais arrojadas, refletindo em uma matriz energética mais diversificada. As projeções para o PIB do Brasil adotadas no Plano foram elaboradas pelo Fundo Monetário Internacional (FMI). O crescimento populacional é uma importante variável para a utilização de energia. O Plano considera que o crescimento populacional brasileiro será de 0,6% ao ano de 2011 a 2035, enquanto o mundo apresentará um crescimento populacional de 0,9% ao ano.

Em relação aos preços da energia, o Plano considera que não haverá intervenções do governo no longo prazo. Os preços dos energéticos seriam alinhados com a dinâmica do mercado internacional. Os preços da eletricidade no Brasil têm aumentado nos últimos anos e, em 2012, o preço médio pago pela indústria havia atingido US\$ 178 por megawatt-hora (MWh). Este valor foi ligeiramente superior aos preços pagos nos países da OCDE e bem acima dos preços pagos pelos outros países do BRICS⁸. O alto preço da eletricidade compromete a competitividade da indústria brasileira frente ao mercado internacional.

Nas projeções do WEO para o Brasil em 2035, o país ocupará uma posição como grande exportador de petróleo. A produção de petróleo brasileira irá triplicar, atingindo 6 milhões de barris por dia. A produção de gás natural irá aumentar aproximadamente 5 vezes. A parcela de energia renovável na geração de eletricidade permanecerá alta, com o aumento das parcelas de geração eólica e por biomassa, compensando a redução da parcela de geração hidroelétrica. A parcela de geração de eletricidade através do gás natural também irá aumentar. O país deverá investir cerca de 90 bilhões de dólares por ano no setor energético.

Conforme indicado na Tabela 2.4, a demanda de energia primária no Brasil deverá aumentar 80% no Cenário de Novas Políticas até o ano de 2035, representando um crescimento anual de 2,47%. No Cenário de Políticas Atuais, este crescimento deverá ser de 88%, representando um crescimento anual de 2,67%, enquanto que no Cenário 450 o WEO 2015 projeta um aumento de 66%, representando um crescimento anual de 1,86%.

A projeção da matriz energética brasileira para 2035 não se altera muito entre os Cenários de Políticas Atuais e o Cenário de Novas Políticas. Em todos os cenários, o petróleo ainda será a fonte primária de energia dominante, variando de 41% em 2011 para

⁷ O Cenário 450 estabelece uma trajetória de evolução da demanda e da oferta de energia consistente com o objetivo de limitar o aumento global de temperatura a 2° C, limitando a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera para cerca de 450 partes por milhão de CO₂.

⁸ BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul que juntos visam expandir suas atividades no âmbito da coordenação política, da cooperação econômico-financeira e da cooperação multissetorial (Itamaraty, 2018b).

35% no Cenário de Políticas Atuais, para 34% no Cenário de Novas Políticas e para 27% no Cenário 450. O gás natural apresentará uma penetração significativa em todos os cenários, variando de 9% em 2011 para 17% no Cenário de Políticas Atuais, para 16% no Cenário de Novas Políticas e para 12% no Cenário 450. A participação da hidroeletricidade apresentará poucas variações nos três cenários; ela será reduzida de 14% para 12% em 2035 nos dois primeiros cenários e manterá a sua participação constante no Cenário 450. A bioenergia será a segunda fonte mais importante na matriz energética, variando de 29% em 2011 para 27% em 2035 no Cenário de Políticas Atuais, se mantendo constante em 29% no Cenário de Novas Políticas e aumentando para 37% no Cenário 450.

Tabela 2.4: Demanda energética primária total, em Mtep, por cenário de projeção e por combustível

			Cenário de Novas políticas			Cenário de políticas atuais			Cenário 450		
	1990	2011	2020	2035	Variação a.a.	2020	2035	Variação a.a.	2020	2035	Variação a.a.
Petróleo	59	109	141	165	1,74%	143	174	1,97%	129	112	0,11%
Gás natural	3	23	38	77	5,16%	42	88	5,75%	32	51	3,37%
Carvão	10	15	19	24	1,98%	19	28	2,63%	17	17	0,52%
Nuclear	1	4	6	8	2,93%	6	8	2,93%	6	11	4,31%
Hidroelétrica	18	37	44	58	1,89%	44	60	2,03%	44	58	1,89%
Bioenergia	48	78	99	138	2,41%	97	134	2,28%	102	156	2,93%
Outras renováveis	0	1	5	11	10,51%	5	10	10,07%	5	11	10,51%
Total	138	267	352	480	2,47%	356	502	2,67%	334	416	1,86%
Parcela de combustíveis fósseis	52%	55%	56%	55%	-	57%	58%	-	53%	43%	-

Fonte: Elaboração própria baseada no WEO 2013

O cenário de referência do WEO 2013, o Cenário de Novas Políticas, é um cenário otimista e não apresenta diferenças consideráveis em comparação com o Cenário de Políticas Atuais. Já o Cenário 450 representa a adoção de medidas arrojadas, refletindo em uma matriz energética mais renovável e variada para 2035, significando também uma maior segurança no suprimento de energia.

Tabela 2.5: Consumo energético final por setores no Cenário de Novas Políticas, em Mtep

	1990	2011	2020	2025	2030	2035	variação 2011-2035
Indústria	40	82	105	119	133	148	80%
Transporte	33	74	105	115	124	132	78%
Edificações	23	35	41	47	52	57	63%
Outros setores*	15	27	36	41	46	51	89%
Total	111	219	287	322	356	388	77%

* Inclui agricultura e usos não energéticos.

A Tabela 2.5 apresenta o consumo energético final por setores no Cenário de Novas Políticas. Observa-se, nesta tabela, que o setor industrial apresenta, no período de 2011 a 2035, um aumento na demanda de energia de 80%, o setor de transporte uma variação de 78% e as edificações um incremento de 63%.

2.4 – Projeções do Fundo Monetário Internacional para a economia brasileira

O Fundo Monetário Internacional (FMI) é uma associação criada em 1944, na Conferência de Bretton Woods, para ajudar a reconstrução do sistema monetário internacional após a Segunda Guerra Mundial. É uma associação composta por 189 países e sua missão é promover a cooperação monetária global, assegurar a estabilidade financeira, facilitar o comércio internacional, promover um elevado nível de emprego e um crescimento econômico sustentável e reduzir a pobreza em todo o mundo.

O FMI realiza análises e projeções sobre o crescimento econômico dos países considerando o cenário econômico mundial e aspectos relevantes das economias locais. Em seus estudos, a instituição considera principalmente aspectos econômicos, não realizando projeções de consumo e oferta de energia. Contudo por se tratar de um estudo que é sempre atualizado, a versão aqui utilizada de julho de 2017 consegue captar aspectos econômicos recentes importantes como a crise econômica brasileira que se estende desde 2014.

Em seu relatório denominado World Economy Outlook, de julho de 2017, prevê que a saída do Reino Unido da União Européia, o Brexit, pode limitar o crescimento do PIB mundial. Nas projeções para o Brasil, o World Economy Outlook considera que o

consumidor está retornando sua confiança na economia, apesar de as incertezas políticas permanecerem. O FMI avalia que o Brasil já passou pelo pior período de sua crise, em 2015 e 2016, anos nos quais o PIB do país diminuiu 3,8% e 3,6%, respectivamente. A Tabela 2.6 apresenta valores históricos recentes e projeções do WEO 2017 para o PIB do mundo e PIB do Brasil.

Tabela 2.6: Crescimento do PIB do Brasil e do Mundo, em % ao ano

PIB				Estimado		Projetado
	2014	2015	2016	2017	2018	2019-2022
Mundo	3,4	3,1	3,1	3,5	3,7	3,7
Brasil	0,1	-3,8	-3,6	0,3	1,7	2,0

Fonte: Elaboração própria baseada em WEO 2017

Os investimentos totais, públicos e privados, que suportam o crescimento do PIB projetado variam de 17,9% do PIB em 2016 crescendo para 19,6% do PIB em 2022, a maioria dos quais sendo provenientes da iniciativa privada.

2.5 – Síntese

Este capítulo apresentou um panorama das condições energéticas atuais do Brasil, de como se chegou até aqui, e de como o planejamento energético, de uma forma geral, e os modelos de projeção da demanda de energia, em particular, se fazem necessários para prever e suprir as necessidades energéticas futuras.

Nesta tese é desenvolvido um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES), que é apresentado em detalhes nos próximos capítulos. Este modelo representa de uma forma desagregada os setores energo-intensivos da indústria brasileira, de forma a priorizar a sua análise energética e permitir a projeção de suas demandas de energia térmica e energia elétrica. O modelo MEG –DES utiliza a técnica de cenários para o tratamento de incertezas.

Os cenários utilizados nos principais estudos de projeção de crescimento da economia e da demanda energética para o Brasil foram abordados neste capítulo, visando subsidiar a construção de cenários próprios para aplicá-los ao modelo proposto neste

trabalho. O cenário econômico adotado neste trabalho como cenário de referência, ou *Business As Usual* (BAU), segue as hipóteses assumidas no WEO 2017, apresentado na seção 2.4 O cenário alternativo de crescimento econômico, ALT, considerado neste trabalho segue os parâmetros propostos no cenário de referência do PDE 2026, abordado na seção 2.3.1. Os resultados das projeções dos planos aqui analisados são utilizados, mais adiante nesta tese, para comparação com os resultados do modelo aqui desenvolvido.

3 Modelos de equilíbrio geral

O planejamento energético se relaciona a vários aspectos da economia como um todo, como formação de preços, determinação da produção, geração e distribuição de renda, consumo, ações governamentais, entre outros. Os modelos de equilíbrio econômico oferecem um arcabouço coerente de análise capaz de capturar todos esses aspectos relevantes e, assim, têm sido usados extensivamente para a análise de políticas energéticas (Bhattacharyya, 1996).

Neste capítulo, abordam-se a teoria de modelos de equilíbrio geral e sua metodologia, apresentando o fluxo circular da renda, as condições para que exista um equilíbrio econômico e a formulação de um modelo de equilíbrio econômico geral através de um problema de complementaridade. Na segunda parte deste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica das principais metodologias de resolução de modelos de equilíbrio geral e aplicações deste tipo de modelo na área de energia.

3.1 – Revisão bibliográfica

3.1.1 – Desenvolvimento dos modelos de equilíbrio geral

Os modelos são uma representação simplificada da realidade, e se concentram nas características essenciais que se procura entender. Modelos de equilíbrio geral são uma classe modelos econômicos. No equilíbrio geral estuda-se como as condições de oferta e demanda interagem em vários mercados para determinar os preços de muitos bens (Varian, 2016).

Os modelos de equilíbrio econômico começaram a ter maior utilização no setor energético na década de 1980. Dentre as diversas áreas de utilização de modelos de equilíbrio geral (MEG) pode-se destacar seu uso para a análise de formação de blocos de comércio, impostos, questões energéticas, emissões de gases causadores do efeito estufa, degradação do meio ambiente, dentre outras.

Os modelos de equilíbrio geral são usados tipicamente para simular alterações em políticas ou eventos: a partir de uma economia em equilíbrio, projeta-se um cenário para refletir mudanças estruturais ou conjunturais alterando-se os valores de algumas variáveis exógenas ou parâmetros, introduzindo um desequilíbrio. Os valores das variáveis endógenas necessários para que a economia volte ao equilíbrio são então computados, tornando possível quantificar os impactos econômicos das alterações introduzidas.

A Figura 3.1 apresenta os principais autores que contribuíram para o desenvolvimento da teoria e aplicações de equilíbrio geral

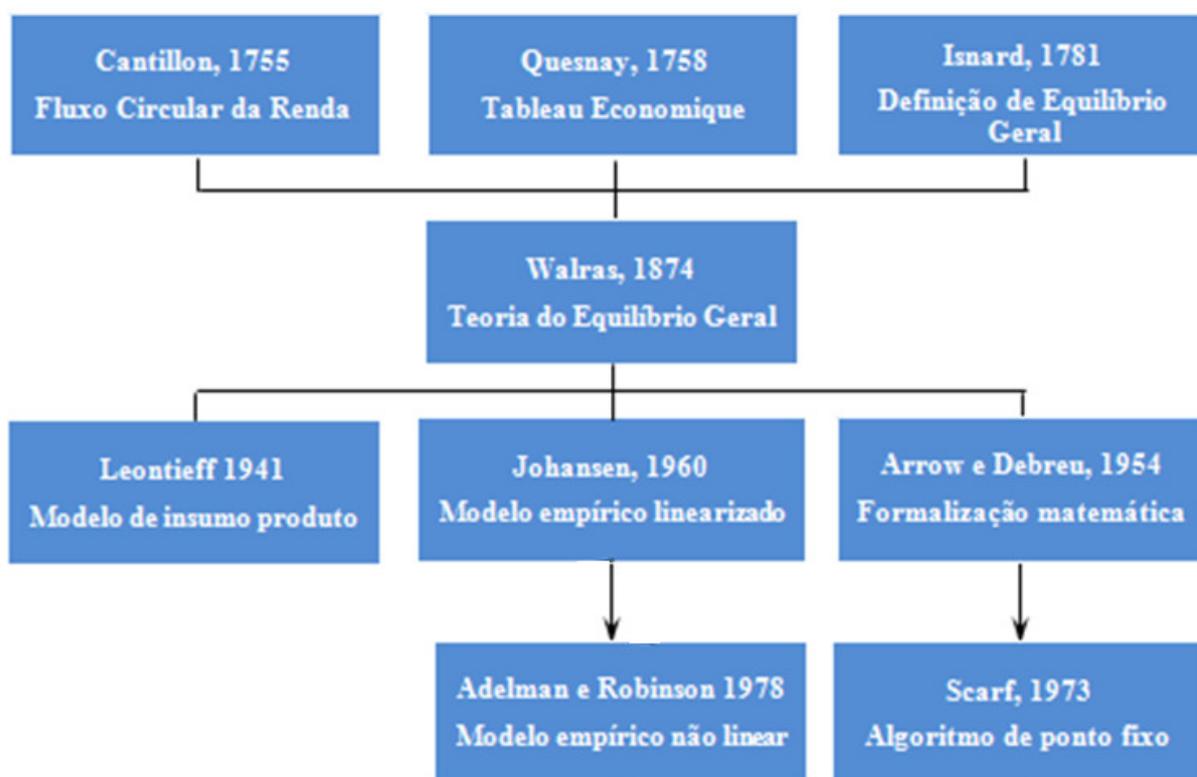


Figura 3.1: Desenvolvimento da teoria e aplicações de equilíbrio geral.

Fonte: Elaboração própria baseada em Haddad (2009) e Mitra-Kahn (2008)

Os principais predecessores do modelo de equilíbrio geral foram: Richard Cantillon, em 1755, que foi o primeiro a formular o conceito de fluxo circular da renda; François Quesnay, no *Tableau économique des physiocrates*, em 1758, idealizou o *tableau économique* e o fluxo das riquezas entre os setores; Achylle-Nicolas Isnard, no *Traité des Richesses*, em 1781, formulou a lógica do pensamento econômico através de um sistema de equações simultâneas, proporcionando a primeira definição matemática de equilíbrio. No

entanto, foi Marie-Éspirit Léon Walras, em *Éléments d'économie politique pure*, em 1874, quem formulou a teoria de equilíbrio geral.

Léon Walras é considerado o fundador da teoria de equilíbrio geral, descrevendo as relações entre produtores e consumidores. As principais hipóteses no equilíbrio geral Walrasiano envolvem: o pleno emprego dos fatores de produção; os preços dos produtos equivalem aos seus custos nos processos produtivos; e as quantidades produzidas ofertadas correspondem às quantidades demandadas pelos consumidores.

Arrow e Debreu (1954), em uma formalização teórica do equilíbrio geral de Walras como um problema de otimização, apresentaram a prova de existência de uma solução, ou seja, a existência de um determinado conjunto de preços e níveis de operação das atividades de produção e consumo para os quais a oferta é igual à demanda assumindo as premissas econômicas de competição perfeita⁹, preferências convexas¹⁰ e demandas independentes¹¹.

No que refere à aplicação da teoria de equilíbrio geral, quatro trabalhos tiveram grande importância em seu desenvolvimento: os de Leontief (1941), Johansen (1960), Scarf (1973) e Adelman e Robinson (1978).

Wassily Leontief, em 1941, criou o modelo insumo-produto que é a representação da economia de um país ou de uma região retratando suas relações intersetoriais, semelhante ao trabalho de Quesnay, no *tableau économique*. O método apresentado por Leontief, hoje conhecido como análise de insumo-produto, é uma aproximação do modelo walrasiano que supõe tecnologias lineares de produção, resultando em um sistema de equações lineares resolvido por inversão de matrizes.

Johansen, em *A multi-sectorial study of economic growth*, de 1960, idealizou um método empírico de análise econômica através de uma combinação de contas nacionais, equações de balanceamento macroeconômico e análise de insumo-produto, que modelavam a economia norueguesa em um sistema de equações não lineares, que linearizado através da aplicação de logaritmos, era resolvido por inversão de matrizes, obtendo a solução de equilíbrio em taxas de crescimento.

⁹Estrutura de mercado com grande número de compradores e vendedores de um certo bem ou serviço, em que nenhum participante tem tamanho suficiente para ditar preços de um produto.

¹⁰Preferências convexas significam que as curvas de indiferenças dos consumidores são convexas, o que implica dizer que os consumidores geralmente preferem uma cesta de mercado balanceada a uma cesta com apenas um tipo de mercadoria (Pindyck e Rubinfeld, 2005).

¹¹ A demanda independente é aquela que depende apenas das condições de mercado e que está fora do controle imediato da empresa.

Adelman e Robinson (1978), em *Income distribution Policy in Developing Countries: A case study of Korea*, consolidaram diversos trabalhos preliminares (Taylor e Black (1974) e Taylor e Lysy (1977)) conceitualmente baseados no modelo idealizado por Leif Johansen (embora com outra metodologia de resolução), todos com o apoio e supervisão do Banco Mundial, para o planejamento de países em desenvolvimento (Mitra-Khan, 2008).

Herbert Scarf, em *The computation of economic equilibria*, de 1973, introduziu o teorema do ponto fixo para encontrar uma solução do modelo de equilíbrio geral formalizado por Arrow e Debreu, apresentando um método que explicita a solução numérica das equações em níveis.

Os modelos de equilíbrio podem ser divididos em modelos de equilíbrio geral e de equilíbrio parcial. Enquanto um modelo de equilíbrio *setorial* ou *parcial* procura descrever apenas alguns setores de uma economia, um modelo de equilíbrio *geral* é a representação estilizada de toda a economia, envolvendo todos os produtores, consumidores e mercados, tendo como variáveis endógenas¹² basicamente quantidades e preços associados aos fluxos de bens, e como variáveis exógenas¹³ os valores de crescimento da economia e mudanças tecnológicas.

Modelos de equilíbrio geral podem ser ainda classificados em computáveis ou aplicados. Atualmente se consideram ambas as nomenclaturas sinônimas, mas existe alguma distinção em relação a sua origem: inicialmente os modelos de equilíbrio geral computável, modelos CGE, eram modelos de simulação empíricos contábeis com consistência macroeconômica e os modelos aplicados de equilíbrio geral, modelos AGE, eram aplicações da teoria neoclássica microeconômica em modelos de otimização (Mitra-Khan, 2008). Na literatura moderna se consolidou que ambos combinam a estrutura de equilíbrio geral abstrato micro e macroeconômico com dados econômicos reais em um sistema de equações resolvido numericamente para os níveis de oferta, demanda e preços que compõem o equilíbrio em todos os mercados.

Uma das principais vantagens no uso dos modelos de equilíbrio geral é que eles capturam os relacionamentos e interdependências entre os vários setores da economia. Outra vantagem é que o modelo necessita apenas de dados de um ano base, e não depende

¹² As variáveis endógenas são aquelas cujos valores decorrem do funcionamento simultâneo dos mercados na economia, calculadas pelo modelo.

¹³ São variáveis determinadas por circunstâncias não descritas pelo modelo, mas que influenciam o funcionamento da economia e o equilíbrio das variáveis endógenas.

de séries temporais, pois todas as relações do modelo são derivadas das teorias micro e macroeconômica.

3.1.2 – Metodologias de resolução do modelo de equilíbrio geral

Não existe um padrão pré-definido de como os modelos de equilíbrio geral devem ser classificados, estando os modelos, na literatura, classificados pelos mais diversos critérios entre eles: objetivo de estudo dos modelos; método de solução; modo de fechamento; se são estáticos ou dinâmicos; teoria econômica utilizada na construção do modelo; entre outros (Guilhoto, 2009). Neste trabalho optou-se por classifica-los de acordo com o método de solução. Desta forma os modelos de equilíbrio geral podem ser divididos em três escolas, que variam de acordo com as metodologias de resolução do modelo. As três escolas se referem à Metodologia de Johansen, à Metodologia Estruturalista, e à Metodologia Neoclássica.

a) A metodologia de Johansen

A *metodologia de Johansen* é uma das mais utilizadas na solução de modelos de equilíbrio geral computável – EGC. Como visto anteriormente, Johansen, em 1960, introduziu a técnica de aplicar logaritmos em um sistema de equações não lineares que descreviam a economia norueguesa para resolver o sistema linear resultante, obtendo a solução na forma de taxas de crescimento.

Essa metodologia é frequentemente utilizada atualmente em aplicações de equilíbrio econômico, e foi ampliada por Dixon *et al.* (1982) no modelo ORANI e por Adams *et al.* (1994) no modelo Monash, que, além das equações macroeconômicas, acrescentaram, em substituição à análise de insumo produto, equações microeconômicas descrevendo a demanda, conforme os fundamentos neoclássicos de Arrow e Debreu.

Nestes modelos, que são de simulação, o número de variáveis é maior do que o número de equações, sendo necessário que as variáveis que excedem o número de equações sejam tornadas exógenas em um procedimento conhecido como “fechamento do modelo”. Este procedimento exige sensibilidade e conhecimento do modelador,

influenciando diretamente os resultados do modelo, que são dados na forma de taxas de crescimento.

Esses modelos utilizam o pacote computacional de resolução Gempack (*General Equilibrium Modelling PACKage*) (Harrison e Pearson, 1996), que é um conjunto de *softwares* de modelagem econômica com base na metodologia de Johansen que tem estado em desenvolvimento contínuo no Centro de Estudos de Políticas (CoPS) da Universidade de Victoria, Melbourne, Austrália¹⁴.

b) Metodologia Estruturalista

A *metodologia estruturalista* é fundamentada no mesmo modelo empírico de Johansen, mas resolvido como um sistema de equações simultâneas não lineares e a solução é apresentada na forma de preços dos bens e níveis de atividade dos setores. O primeiro algoritmo foi consolidado por Adelman e Robinson (1978), a partir de modelos preliminares de Taylor e Black (1974) e Taylor e Lysy (1977) (Mitra-Khan, 2008). Essa metodologia foi utilizada nos modelos que o Banco Mundial empregou na análise de políticas de países em desenvolvimento; por isso, ela também é conhecida como a metodologia do Banco Mundial. Estes modelos são de simulação e, como o número de variáveis é maior do que o número de equações, é necessário o fechamento do modelo, aplicando-se as mesmas considerações abordadas anteriormente.

Em geral os modelos que seguem a metodologia estruturalista têm sido implementados atualmente usando o pacote computacional GAMS - *General Algebraic Modeling System* (Brooke, Kendrick e Meeraus, 1988).

c) Metodologia neoclássica

A *metodologia neoclássica* se baseia no modelo teórico proposto por Arrow e Debreu e os algoritmos de resolução se dividem em duas vertentes, sendo cronologicamente a primeira a resolução desse modelo como um problema de ponto fixo apresentada por Scarf em 1973 e, também, implementada por seus alunos Shoven e Whalley (1974).

A segunda vertente é a reformulação de Mathiesen (1985) do problema de ponto fixo de Scarf como um problema de complementaridade não linear (computacionalmente

¹⁴ O Gempack, mais recentemente, apresentou também uma opção de solução de equações em níveis, segundo o estilo da escola estruturalista, através de uma interface que transforma as taxas de crescimento em níveis.

mais eficiente que o algoritmo de Scarf). Essa metodologia foi ampliada e desenvolvida a partir do trabalho de Mathiesen, de forma independente, nos pacotes computacionais de modelagem e resolução de modelos de equilíbrio geral MPSGE, de Rutherford (1987), e Pegasus, de Bordoni (1989) ¹⁵.

Tabela 3.1: Características e trabalhos/modelos utilizando cada uma das três metodologias de resolução de modelos de equilíbrio geral

METODOLOGIA DE JOHANSEN	METODOLOGIA ESTRUTURALISTA	METODOLOGIA NEOCLÁSSICA
Características:		
Linearização de sistemas de equações não lineares	Resolução de sistema de equações não lineares	Problema de complementaridade
Solução na forma de taxas	Solução na forma de níveis	Solução na forma de níveis
<i>Software</i> utilizado: Gempack (Harrison e Pearson, 1996)	<i>Software</i> utilizado: GAMS (Brooke et al, 1988)	<i>Software</i> utilizado: MPSGE/ GAMS (Rutherford,1994)
Trabalhos desenvolvidos		
ORANI – (Dixon et al, 1977)	(Taylor e Black, 1974), (Taylor e Lysy, 1977)	(Mathiesen, 1985)
Monash – (Adams et al., 1994)	(Adelman e Robinson, 1978), e (Robinson et al,1999)	Pegasus – (Scaramucci, 1997)
Modelo PAPA – (Guilhoto, 1995)	(Dervis et al, 1982)	(Ferris e Pang,1997)
B-Maria - (Haddad e Hewings, 1997)	RUNS – (Burniaux e Mensbrughe, 1990)	(Rutherford,1987), (Bordoni,1989), (Rutherford,1994 e 1995), (Gabriel ,1995)
B-Maria 27 - (Haddad et al, 2003).	Modelo Megabras (Ferreira Filho,1995 e 1997)	
EFES – (Haddad e Domingues,2001)	Modelo CGE-IPEA (Tourinho e Kume, 2002)	(Rutherford e Paltsev, 1999) (Bordoni, 2001)
EFES- Energy- (Perobelli et al, 2009)		
TERM – (Horridge et al., 2005)		Política comercial no Mercosul - (Harrison et al, 2004)
TERM-BR– (Ferreira Filho e Horridge, 2006)		(Bohringer e Loschel, 2006)

Fonte: Elaboração própria

Implementações computacionais desta metodologia em ambientes de programação sofisticada para análise do equilíbrio econômico também foram independentemente

¹⁵ Partindo dos trabalhos de Scarf e Mathiesen, um grupo de estudantes de pós-graduação de equilíbrio geral orientados pelo Prof. Dr. J. A. Scaramucci no Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas chegaram a resultados semelhantes; ver Arica (1987), Rotondo (1988), Bordoni (1989) e Proença (1991).

apresentados com os pacotes computacionais MPSGE/GAMS (Rutherford, 1995) e Pegasus/*Mathematica* (Scaramucci, 1997).

O MPSGE/GAMS - *Mathematical Programming System for General Equilibrium Analysis* é uma implementação da metodologia de complementaridade não linear como um subsistema do GAMS.

A Tabela 3.1 resume as principais características e alguns importantes trabalhos e modelos desenvolvidos utilizando cada uma destas metodologias.

3.1.3 – Aplicações de modelos de equilíbrio geral

O ORANI é um modelo da economia australiana, utilizado em diversos estudos de políticas públicas, que foi construído no âmbito do projeto Impact e é resultado do esforço conjunto de vários órgãos do governo australiano com a Universidade de Melbourne (Dixon et al., 1977).

O modelo Monash é uma evolução do modelo ORANI. É um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico da economia australiana para previsões e análises políticas.

O modelo TERM – *The Enormous Regional Model*, também desenvolvido pelo CoPS para a economia australiana, é um modelo CGE “*bottom-up*” que trata cada região econômica separadamente (Horridge, Madden, Wittwer, 2005).

No Brasil, um dos pioneiros a utilizar a abordagem de Johansen foi Guilhoto em 1986, na primeira versão do modelo PAPA – Planejamento e Análise de Políticas Agrícolas. Guilhoto apresentou em 1995 uma segunda versão do modelo PAPA (Guilhoto, 1995), que, como a primeira, é um modelo de equilíbrio geral para planejamento e análise de políticas agrícolas na economia brasileira. É também um modelo baseado no modelo ORANI, com solução dada em taxas de crescimento. Este modelo permite estudar o impacto de políticas agrícolas, tanto no setor agrícola, como sobre outros setores, e sobre a economia brasileira como um todo. O modelo apresenta um detalhamento das margens de comércio e impostos, é desagregado em 33 setores, e é baseado na matriz insumo produto de 1980.

A metodologia de Johansen tem sido utilizada em diversos modelos de equilíbrio para o Brasil, como na série de modelos B-Maria (Haddad e Hewings, 1997), e na série de modelos EFES (Haddad e Domingues, 2001). O modelo B-Maria é um modelo inter-regional aplicado à economia brasileira. A estrutura do modelo é desagregada nas regiões Norte, Nordeste e resto do Brasil, permitindo analisar mudanças estruturais na economia, bem como a desigualdade regional. Os resultados nacionais são obtidos a partir de uma agregação dos resultados regionais. O modelo contempla 40 setores e a calibragem é referente ao ano de 1985.

O modelo B-Maria possuiu vários desdobramentos, dentre eles o B-Maria 27 (Haddad *et al.*, 2003). A principal diferença com o modelo B-Maria se dá no tratamento detalhado dos fluxos interestaduais na economia brasileira, especificando mercados de origem e destino para as importações e exportações estaduais. No B-Maria 27, a economia brasileira é dividida em 27 regiões, com uma desagregação em 8 setores produtivos e calibragem referente ao ano de 1996.

Em 2001, Haddad e Domingues apresentaram o modelo EFES – *Economic Forecasting Equilibrium System*, que é um modelo de projeção para o Brasil desenvolvido para o Projeto Sipape – Sistema Integrado de Planejamento e Análise de Políticas Econômicas, da USP. O modelo EFES é baseado na estrutura teórica do modelo Monash.

Baseado no modelo TERM, Ferreira Filho e Horridge (2006) desenvolveram o modelo TERM-BR, que é um modelo inter-regional estático da economia brasileira. O TERM-BR consiste de 27 modelos interdependentes, um para cada estado, mais o distrito federal, interligados por matrizes de comércio nos mercados de produtos e fatores. Cada indústria e consumidor final combinam versões importadas e brasileiras de cada *commodity* para produzir uma elasticidade de substituição constante específica para um bem composto. O consumo das famílias deste composto doméstico-importado é modelado através de um sistema de gastos linear, enquanto as demandas intermediárias são calculadas utilizando coeficientes de insumo produto fixos (Leontief). O cálculo da demanda da indústria por fatores primários utiliza uma elasticidade de substituição constante, enquanto o trabalho é uma função de elasticidade de substituição constante de 10 tipos de trabalho. Além das 27 unidades federativas, o modelo distingue 42 setores produtivos, 52 *commodities* e 10 tipos de trabalho; ele é calibrado para o ano de 2005. Este modelo tem sido usado pelo autor em estudos de desigualdade de renda e pobreza (Ferreira

Filho, 2011), bem como para análises econômicas decorrentes de cenários de regulamentação ambiental (Ferreira Filho, 2015).

Também utilizando a metodologia de Johansen, ressalta-se também o GTAP (Global Trade Analysis Project), formado por uma rede global de pesquisadores e formuladores de políticas que conduzem análises quantitativas de questões de política internacional, oferecendo uma variedade de produtos, incluindo: dados, modelos e recursos para análise de equilíbrio geral multi-regional aplicada a questões econômicas globais.

O tipo de modelo do Banco Mundial constitui a maior parte das experiências de modelagem de equilíbrio estruturalista, sendo geralmente usado para exercícios estáticos comparativos. O Banco Mundial e universidades e cientistas associados apoiaram um grande número desses projetos de modelagem, geralmente aplicados a países em desenvolvimento. Os principais autores deste grupo são J. De Melo, S. Robinson, R. Eckaus, S. Devarajan, R. Decaluwe, R. Taylor, S. Lysy e outros.

Seguindo a metodologia do estruturalista, o algoritmo inicial de Adelman e Robinson foi aperfeiçoado com contribuições de Dervis *et al.* (1982), Robinson *et al.* (1999), e Burniaux e Mensbrugge (1990). Este último desenvolveu o modelo RUNS – *Rural Urban North South*, no qual se baseia o modelo Megabras, proposto por Ferreira Filho (1995; 1997) para a análise de políticas agrícolas no Brasil.

Uma das versões atuais do modelo estruturalista, por exemplo, o modelo GEM-E3 (General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment) é construído com base em uma Matriz de Contabilidade Social e formula explicitamente o equilíbrio entre demanda e oferta. Os coeficientes técnicos de produção e demanda são flexíveis, no sentido de que os produtores podem alternar o mix de produção não apenas em relação aos fatores primários de produção, mas também em relação aos bens intermediários. A produção é modelada através de funções de produção do tipo KLEM (capital, trabalho, energia e materiais), envolvendo muitos fatores (todos os produtos intermediários e dois fatores primários, capital e trabalho). Ao mesmo tempo, os consumidores também podem endogenamente decidir a estrutura de sua demanda por bens e serviços. O mix de consumo é decidido por meio de um sistema de despesas flexível, envolvendo bens duráveis e não duráveis. A especificação de produção e consumo segue os modelos do tipo Leontief generalizados.

Outro modelo que utiliza esta metodologia é o CGE-Ipea, que tem sido empregado para analisar questões de política fiscal como a reforma fiscal de 2002-2003, bem como os

custos e benefícios do Brasil participar da Área de Livre Comércio das Américas (ALCA) (Tourinho e Kume, 2002; Maldonado, Tourinho e Valli, 2003; Silva, Tourinho e Alves 2005; Tourinho e Kume e Pedroso, 2006).

Seguindo a metodologia neoclássica, o *Pegasus/Mathematica*, de Scaramucci (1997), é um conjunto abrangente de funções para análise de equilíbrio econômico como um problema de complementaridade não linear disponível no ambiente de programação do *software Mathematica* (Wolfran, 1991), a que Bordoni (2001) contribuiu com rotinas de métodos quantitativos para tratamento e solução de modelos de equilíbrio geral computável de grande porte.

Em termos de eficiência computacional, todos estes pacotes são semelhantes. Hertel, Horridge e Pearson (1991) realizaram uma comparação dos resultados de uma modelagem de equilíbrio geral utilizando a metodologia de Johansen com "representação linearizada do modelo" e uma metodologia neoclássica com "representação em níveis". Usando o pacote Gempack no primeiro caso e um pacote de resolução de problemas de complementaridade não linear no segundo, eles desenvolveram e resolveram ambas as representações de um modelo comercial pluri-regional neoclássico, mostrando que as soluções de equilíbrio obtidas eram iguais qualquer que fosse a precisão especificada.

Ferris e Pang (1997) elaboraram uma documentação detalhada de várias aplicações de problemas de complementaridade mista em engenharia e em economia. Dentre as diversas aplicações, destaca-se a metodologia de complementaridade mista em problemas de equilíbrio geral. O trabalho também apresenta uma variedade de métodos computacionais para a resolução de problemas de complementaridade.

Thomas Rutherford e Sergey Paltsev, em 1999, desenvolveram um modelo de equilíbrio geral para analisar o excesso de encargos dos impostos indiretos na Rússia. Este modelo representou um ponto de partida para avaliações subsequentes de opções de política fiscal com base em formulações mais complexas. O excesso de encargos marginal é o custo da distorção, isto é, o prejuízo econômico que a sociedade sofre como resultado de um imposto. O modelo desenvolvido é um modelo estático, conforme o modelo conceitual de Shoven e Whalley (1992), formulado e resolvido utilizando o MPSGE/GAMS. O modelo faz uso de um agente representativo para descrever a demanda final e dotações das famílias. Rutherford e Paltsev avaliaram que, dentre os impostos analisados, o imposto de segurança social é o mais eficiente, enquanto o imposto de

importação é o mais caro, com excesso de encargos marginais de 5% e 9.5%, respectivamente.

O modelo MEG-DES, desenvolvido neste trabalho, é baseado no modelo de Rutherford e Paltsev (1999), mas agregando todos os impostos em apenas dois, os impostos sobre a produção e impostos sobre os produtos, pois o objetivo principal do modelo MEG-DES é a análise da demanda de energia¹⁶.

Outras aplicações dessa metodologia são as de Harrison *et al.* (2004), que desenvolveram um modelo multi-regional para avaliar as opções de políticas comerciais regionais, multilaterais e unilaterais do Mercosul (Mercado Comum do Sul), com foco em impactos na pobreza.

3.1.4 – Aplicações de modelo de equilíbrio geral na área de energia

As aplicações de modelos de equilíbrio geral se estendem por diversas áreas do conhecimento, como, por exemplo, a análise de políticas públicas, envolvendo tributação, ou comércio inter-regional, e a análise da demanda e da oferta de energéticos.

No âmbito dos modelos que trabalham com projeções da demanda de energia, destaca-se o NEMS – *National Energy Modeling System*, que embora seja um modelo de grande porte que calcula, no equilíbrio, os preços e as quantidades consumidas dos energéticos nos EUA, não é um modelo de equilíbrio geral convencional onde as equações são resolvidas simultaneamente. Ele foi desenvolvido pelo *Energy Information Administration* – EIA¹⁷ em 1993 e, desde então, diversas atualizações têm sido disponibilizadas. O NEMS representa o comportamento do mercado de energia e suas interações na economia norte americana, com projeções para o longo prazo, sendo usado todos os anos na elaboração do *US Annual Energy Outlook*. Para gerar os valores de equilíbrio, vários programas lineares e equações não lineares são resolvidos sequencialmente. O NEMS é modular e utiliza um algoritmo de Gauss-Seidel não linear para calcular um equilíbrio (Gabriel, 1995).

¹⁶ Eventualmente, em outro trabalho, seria possível desagregar mais os impostos para um estudo, por exemplo, do excesso de encargos marginal dos impostos sobre combustíveis.

¹⁷ O EIA faz parte do Department of Energy do governo norte-americano.

O NEMS equilibra a oferta e a demanda de energia para cada combustível e setor de consumo, tendo em conta a competição econômica entre as fontes de energia. Os seus módulos representam cada um dos mercados de oferta de combustível, os setores de conversão e setores de consumo de uso final; há, também, um módulo macroeconômico e um módulo internacional que interagem, de uma forma iterativa, com os demais módulos do modelo. Os principais fluxos entre esses módulos são os preços de entrega dos energéticos e as quantidades consumidas por produto, região e setor, mas incluem, também, outras informações como a atividade econômica e as características das tecnologias. Os preços de entrega dos energéticos abrangem todas as atividades necessárias para produzir, importar e transportar estes energéticos para o consumidor final (Gabriel, 1995).

Gabriel (1995) apresenta uma reformulação do NEMS onde todos os módulos sequenciais e iterativos mencionados acima são representados por conjuntos de equações complementares resolvidas simultaneamente por um PCN - Problema de Complementaridade Não Linear. Este formato tem o potencial de reduzir alguns dos problemas de convergência e também permite módulos NEMS mais gerais do que o original.

Em 2009, Perobelli, Costa, Haddad e Domingues apresentaram uma nova versão do modelo EFES (Haddad e Domingues, 2001), o EFES – Energy, que trabalha com 43 setores e 77 produtos. Esta versão contempla uma agregação diferenciada para melhor abordar o setor energético e seus produtos. O Setor SIUP - Serviços Industriais de Utilidade Pública das Contas Nacionais é desagregado de forma a trabalhar separadamente com o setor de distribuição de energia elétrica. O modelo conta com dois fechamentos distintos que possibilitam simulações comparativas de curto ou de longo prazo. O modelo EFES - Energy permite investigar a influência que as mudanças na demanda intermediária, no uso do capital, nas preferências, nas quantidades e nos preços dos principais produtos da pauta de exportação brasileira exercem sobre os setores de petróleo e gás natural, energia elétrica, biomassa e no setor de energia como um todo.

Tanto o modelo EFES-Energy, bem como o modelo MEG-DES, desenvolvido no presente trabalho, levam em conta o inter-relacionamento dos setores nas projeções do consumo de energia, sendo que no EFES-Energy esse consumo é feito considerando a elasticidade de substituição de energéticos, que é um critério econômico (*top-down*), diferente do critério tecnológico/energético do modelo MEG-DES, que separa tecnologicamente (*bottom-up*) o consumo de energia elétrica do consumo total de energia.

Outro modelo de projeção da demanda de energia para a economia brasileira foi apresentado por Santiago *et al.* (2011). Embora não seja um modelo de equilíbrio geral, é um modelo híbrido baseado na integração de um modelo econométrico vetorial de correção de erros com um modelo de insumo-produto que permite fazer previsões anuais de consumo para quatro grupos de combustíveis: gasolina, óleo diesel, óleo combustível e álcool. Projetou-se o consumo destes combustíveis para o período de 2008 a 2017, para dois cenários alternativos de duração da crise econômica do Brasil: um de curta duração e outro de longa duração. O modelo, após alguns ajustes, apresentou uma eficácia preditiva satisfatória. Sobre esse modelo, ressaltou-se que o modelo de insumo produto representa a interdependência dos setores existente no ano base da economia, mas sem levar em conta a influência causada pela variação dos preços, como considerada em um modelo de equilíbrio geral. Além disso, a eficiência preditiva dos modelos econométricos se apoia fortemente nos eventos passados, sem considerar as possíveis mudanças tecnológicas e econômicas possíveis de simulação pela análise prospectiva do modelo MEG-DES, desenvolvido neste trabalho.

Com o Protocolo de Quioto, ratificado em 2005, e a adoção de metas para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, os modelos de equilíbrio geral têm sido amplamente aplicados para a análise climática. Através de modelos da economia global que são capazes de simular a adoção de políticas de redução de gases de efeito estufa, envolvendo fortemente o setor energético e o consumo de energia, tem sido possível um melhor entendimento e mensuração dos impactos econômicos de políticas de redução dos gases de efeito estufa. Vários modelos de equilíbrio geral têm sido utilizados para trabalhar com análises ambientais/energéticas, como os modelos descritos a seguir.

O modelo EPPA - *Emissions Prediction and Policy Analysis Model*, desenvolvido no *Joint Program on the Science and Policy of Global Change* (Paltsev et al., 2005), do MIT (Massachusetts Institute of Technology), vem sendo amplamente utilizado para o estudo de aspectos ligados à agricultura, energia e políticas climáticas. O modelo EPPA é um modelo dinâmico recursivo de equilíbrio geral computável desenvolvido para o estudo de políticas climáticas.

Christoph Bohringer e Andreas Loschel desenvolveram em 2006 um modelo de equilíbrio geral de grande porte utilizando o pacote computacional MPSGE/GAMS para investigar os efeitos econômicos e ambientais da promoção de energias renováveis na União Europeia. O modelo é híbrido e incorpora uma descrição tecnológica (*bottom-up*) do

sistema energético para o setor elétrico, enquanto as possibilidades de produção em outros setores são descritos em um nível agregado *top-down* através de funções de elasticidade constante de substituição e transformação. Os autores analisaram a matriz energética futura em um cenário tendencial e em um cenário com subsídios à produção de energia.

No Brasil, os estudos econômicos sobre mudanças climáticas e políticas de mitigação são relativamente novos. Feijó e Porto Jr. (2009) analisaram os efeitos de reduções das emissões de CO₂ sobre a economia brasileira. Com o uso de cenários alternativos para as reduções dos gases de efeito estufa, e admitindo também a possibilidade de comércio de emissões, utilizaram o modelo de equilíbrio geral do GTAP-E, uma versão modificada do GTAP (Global Trade Analysis Project). Os autores concluíram que há um dilema econômico entre eficiência de alocação de recursos e meio-ambiente limpo. Entre os cenários considerados, a melhor posição estratégica do Brasil seria participar diretamente do processo de redução de emissões.

Silva (2010) utilizou o modelo EPPA para estimar os impactos da implementação de metas de redução de gases de efeito estufa pelo Brasil, incluindo explicitamente a redução das emissões por desmatamento. O autor conclui que uma expressiva redução nas emissões brasileiras pode ser atingida com pequenos impactos negativos sobre o crescimento econômico do país e o bem-estar agregado.

Gurgel *et al.* (2015) utilizam o modelo EPPA para analisar os compromissos de redução de emissões assumidos por Brasil e México nos encontros do clima de Copenhague e Cancun, e seus custos associados. Neste trabalho os autores agregaram os dados em 16 regiões e 21 setores, usando o ano base de 2005. Com enfoque nas tendências das emissões, analisaram-se mudanças na produção de energia e os custos macroeconômicos associados em cenários alternativos de políticas climáticas.

Lucena *et al.* (2016) avaliaram os efeitos do sistema energético brasileiro no mercado das restrições de emissões de carbono através da comparação dos resultados de seis diferentes modelos¹⁸ econômico-energéticos, alguns deles de equilíbrio geral, em vários cenários de evolução futura, no âmbito do projeto LAMP- Climacap (*Latin American Modeling Project and Integrated Climate Modelling And Capacity Building in Latin America*).

¹⁸ Os modelos utilizados neste estudo foram (Lucena *et al.*, 2016): EPPA (Paltsev *et al.*, 2005; *ibidem*, 2013); GCAM (Calvin *et al.*, 2011); Message-Brazil (IAEA, 2006; Lucena *et al.*, 2010; Nogueira *et al.*, 2014); Phoenix (Wing *et al.*, 2011); POLES (Griffin *et al.*, 2014; Kitous, 2010); and TIAM-ECN (Kober *et al.*, 2014; van der Zwaan, 2013; van der Zwaan, 2016).

3.2 – Teoria de equilíbrio geral

3.2.1 – Equilíbrio econômico e o fluxo circular da renda

O equilíbrio em uma economia acontece quando a oferta e a demanda de bens são iguais em todos os mercados dessa economia. Walras foi quem primeiro trabalhou com a noção de equilíbrio entre a oferta e a demanda, relacionando-as com o preço. Em um mercado competitivo de um determinado bem, as curvas de oferta e demanda em função do preço representam respectivamente a quantidade produzida por empresas e demandada por consumidores, definindo o preço e a quantidade de equilíbrio. No equilíbrio os preços e as quantidades em todos os mercados são determinados simultaneamente, levando em conta efeitos de *feedback*.¹⁹

Conforme Wing (2004), em um modelo de uma economia, os consumidores são representados pelas *famílias*, que possuem dotações dos fatores primários, *capital* e *trabalho*, dos quais obtêm *renda* para consumo dos bens. Por sua vez, os produtores são representados pelas *empresas*, que usam os fatores primários, pagando rendimentos às famílias, e outros bens como insumos na produção dos bens que, por sua vez, ao serem consumidos pelas famílias (ou por outras empresas como insumos) proporcionam renda às empresas. Com um papel passivo na economia, o governo recebe renda na forma de impostos pagos pelas famílias e empresas, e a redistribui às famílias e empresas na forma de subsídios e transferências. O comportamento dos agentes no fluxo circular da renda refletem as premissas comportamentais em um modelo de equilíbrio geral.

O equilíbrio dos fluxos econômicos é resultado da *conservação do produto e do valor*, que, no fluxo circular da renda, apresentado na Figura 3.2, podem ser vistos da seguinte forma:

- A *conservação do produto* reflete o princípio do equilíbrio físico material. Os fatores primários das famílias devem ser completamente absorvidos pelas empresas e os produtos das empresas devem ser totalmente consumidos pelas famílias e no processo produtivo das empresas.

¹⁹ Efeito de *feedback* (realimentação) é um reajuste de preços ou quantidades em um determinado mercado causado pelos ajustes de preços ou quantidades de mercados correlatos (Pindyck e Rubinfeld, 2005).

- A *conservação do valor* reflete o princípio contábil do equilíbrio do orçamento. Em cada atividade econômica, o valor das despesas deve ser igual ao valor das receitas.

Como ilustrado na Figura 3.2, essas interações conectam consumidores e produtores em um fluxo circular de mercadorias, no qual os consumidores fornecem fatores primários aos produtores que, por sua vez, fornecem bens produzidos aos consumidores.

Na direção oposta, há um fluxo circular de valores, no qual a renda obtida das dotações de trabalho e capital dos consumidores paga pelos bens consumidos, e o valor da produção recebido pelos produtores paga pelos fatores primários e outros insumos.

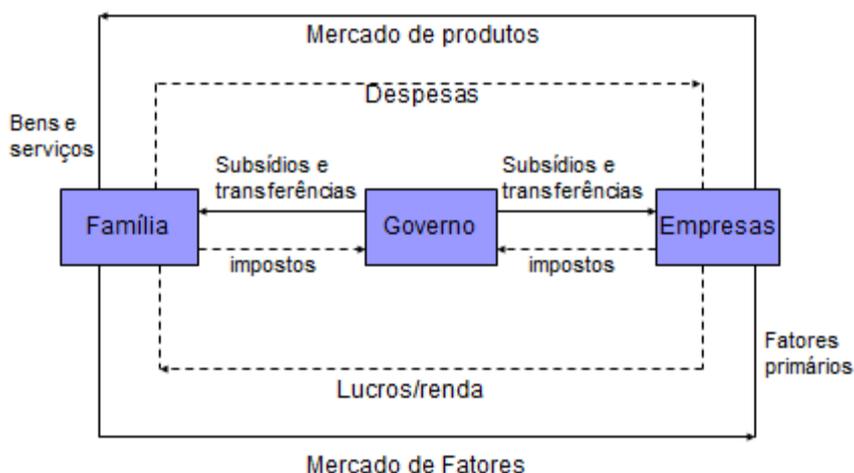


Figura 3.2: Diagrama do fluxo circular da renda

Fonte: Elaboração própria baseada em Wing (2004)

3.2.2 – Condições para o equilíbrio econômico

As regras de contabilidade do fluxo da renda são os pilares do equilíbrio geral de Walras. As condições para o equilíbrio econômico implicam na conservação de bens e de valores.

A *conservação do produto* reflete o princípio da não disponibilidade²⁰ que implica que a produção das empresas são totalmente absorvida pelas famílias e que a dotação das

²⁰Em inglês: *Principle of no free disposability*

famílias de fatores primários são totalmente empregada pelas empresas. (Wing, 2004). Originando as seguintes condições de esgotamento de mercado:

- *Condição de esgotamento do mercado de produtos* – para cada produto a quantidade produzida deve ser igual à soma das quantidades demandadas pelos setores produtivos, famílias e governo.
- *Condição de esgotamento do mercado de fatores* – para cada fator a quantidade total ofertada pelas famílias deve ser igual à soma das quantidades demandadas pelos setores produtivos.

A *conservação do valor* reflete as premissas de retorno constante de escala e de mercados perfeitamente competitivos, implicando que o valor das despesas²¹ deve ser equilibrado pelo valor dos rendimentos. (Wing, 2004) e originando as seguintes condições de equilíbrio orçamentário:

- *Condição de lucro zero na produção das empresas* - o valor dos bens produzidos deve ser igual à soma dos custos de todos os insumos (bens e fatores) utilizados em sua produção.
- *Condição de equilíbrio do orçamento das famílias e governo* – o valor dos bens consumidos deve ser igual ao valor dos rendimentos de suas dotações de fatores primários, no caso das famílias, e os subsídios e transferências iguais ao valor dos impostos, no caso do governo.

Estas condições para o equilíbrio econômico do produto e do valor são implementadas, neste trabalho, por um conjunto de três tipos de equações: equações complementares de esgotamento dos mercados de bens e fatores, equações complementares de lucro zero e equações de igualdade no balanço de rendimentos, onde os dois primeiros tipos de equações são formulados como um problema de complementaridade, apresentado a seguir.

²¹ Despesas de produção no caso dos setores produtivos e despesas de consumo no caso das famílias e governo.

3.2.3 – O problema de complementaridade

Dentre as várias formas de resolução de um modelo de equilíbrio geral, que serão abordadas na seção 3.1.2, descreve-se aqui a formulação para a resolução como um problema de complementaridade.

Mathiesen, em 1985, apresentou uma formulação do problema de equilíbrio geral como um problema de complementaridade. Mathiensen mostrou que o problema de ponto fixo apresentado por Scarf para encontrar uma solução do equilíbrio econômico pode ser reformulado com ganhos computacionais significativos como um problema de complementaridade não linear.

É chamado um problema de complementaridade, o problema no qual tem que se encontrar um valor de \mathbf{x} tal que $\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ satisfaça a condição de complementaridade $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{y} \geq \mathbf{0}$ e $\mathbf{x} \mathbf{y} = \mathbf{0}$ (ou $\mathbf{x} \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$). Se a função $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ que representa a relação de dependência entre \mathbf{x} e \mathbf{y} for não linear, tem-se um problema de complementaridade não linear. Todo problema de complementaridade é um sistema de equações de *desigualdades fracas*, possibilitando representar problemas de otimização com as condições de folga complementar (Bordoni, 2001).

Em outras palavras, caso uma função $f : \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$, encontrar²² $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n$ que satisfaça as condições $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{f}(\mathbf{x}) \geq \mathbf{0}$ e $\mathbf{x}^T \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{0}$ define um problema de complementaridade.

O conceito de complementaridade (ou dualidade) é sinônimo do conceito de equilíbrio de um sistema. O balanço entre oferta e demanda é importante em todos os sistemas econômicos. Matematicamente, esta equação fundamental na economia é muitas vezes descrita por uma relação complementar entre dois conjuntos de variáveis de decisão. Por exemplo, a lei clássica Walrasiana de equilíbrio de economias competitivas pode ser formulada como um problema de complementaridade não linear no preço e na variável de excesso de oferta. A condição de complementaridade exprime o fato de que o excesso de oferta de uma mercadoria deve ser zero quando o seu preço é positivo; do mesmo modo, o preço da mercadoria deve ser zero se houver excesso de oferta (Ferris e Pang, 1997).

²² \mathbf{R} é o conjunto dos números reais

\mathbf{R}^n é o espaço real n-dimensional

$\mathbf{R}^{l \times n}$ é o conjunto de todas as matrizes com l linhas e n colunas, com coeficientes nos reais.

Se $E(\mathbf{p})$ é a oferta excedente, isto é, oferta menos demanda, em função dos preços \mathbf{p} dos bens, então o problema de encontrar preços \mathbf{p} de maneira que ocorra o esgotamento dos mercados pode ser formulado como o seguinte problema de complementaridade:

$$\text{Sendo } \mathbf{p} \geq \mathbf{0} \text{ e } E(\mathbf{p}) \geq \mathbf{0}, \text{ encontrar } \mathbf{p} \text{ tal que } \mathbf{p}^T E(\mathbf{p}) = \mathbf{0} \quad (3.1)$$

A condição de complementaridade exprime a dualidade onde apenas uma de duas possibilidades pode ocorrer: ou o excesso de oferta de uma mercadoria deve ser zero quando o seu preço é positivo, ou então, se houver excesso de oferta, o preço da mercadoria deve ser zero.

A propriedade da complementaridade, ou dualidade, na programação linear exemplifica seu papel fundamental na otimização; esta propriedade persiste em programas não lineares e desigualdades variacionais. Existe uma grande variedade de métodos computacionais para a solução de problemas de complementaridade (Ferris e Pang, 1997).

A obtenção da solução de um problema de complementaridade *não linear* é feita através de um algoritmo de resolução de uma sequência de problemas de complementaridade *linear* que convergem para uma solução do problema não linear.

3.2.4 – Formulação do modelo de equilíbrio geral como um problema de complementaridade

O modelo de equilíbrio geral aqui proposto é formulado como um problema de complementaridade misto (MCP – *Mixed Complementarity Problem*), uma combinação de equações complementares e de igualdade, como feito em (Ferris e Pang, 1997). Utilizou-se também os trabalhos de (Bordoni, 2001), (Wing, 2004) para fundamentar essa seção. Um maior detalhamento da formulação aqui apresentada pode ser visto no anexo I.

Assume-se que a economia de um país, ou de uma região tem em um número finito de bens l sendo que a cada bem é associado um preço p . Observe-se que o termo *bem* é aqui utilizado no sentido amplo, incluindo fatores primários, insumos, produtos e serviços. Há dois tipos de agentes econômicos que transacionam com estes bens: os setores produtivos e os consumidores. Nesta descrição da economia assumem-se n setores produtivos e m consumidores. Uma das premissas adotadas é que a economia é de concorrência perfeita, ou seja, os consumidores e setores produtivos não tem um produtor

favorito, todos são tomadores de preços, tendo consumidores e setores produtivos informação perfeita sobre estes preços.

3.2.4.1- Descrição da produção

A produção dessa economia pode ser descrita usando o vetor de produção líquida $\mathbf{y}^j \in \mathbf{R}^l$ para cada setor j , com $j = 1, \dots, n$.²³ Cada elemento deste vetor é positivo se o setor produz mais do que consome do bem correspondente e é negativo se o setor consome mais do que produz. Cada setor é limitado pela sua tecnologia, que é conceitualmente modelada utilizando o conjunto de produção $\mathbf{Y}^j \subseteq \mathbf{R}^l$. Por hipótese, \mathbf{Y}^j é um conjunto fechado e contém o vetor $\mathbf{0}$, de modo que é possível não produzir. Na notação aqui utilizada, sobrescritos referem-se a vetores coluna associados a setores produtivos ou consumidores e subscritos referem-se a elementos desses vetores.

O comportamento do produtor pode ser descrito resolvendo o problema de minimização do custo unitário, sujeito a restrição de tecnologia do setor, e de onde se obtém as demandas condicionais unitárias de insumos em função dos preços. Semelhantemente, o comportamento do produtor também pode ser descrito através da maximização do lucro, sujeito a restrição de tecnologia do setor, de onde se obtém as ofertas condicionais dos produtos em função dos preços.

A tecnologia dos setores é descrita de pela matriz $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ de produção unitária. Níveis de atividade dos setores $\mathbf{z} \in \mathbf{R}^n$ usados em conjunto com a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ possibilitam obter os vetores de produção líquida $\mathbf{y}^j \in \mathbf{R}^l$ do conjunto de produção \mathbf{Y}^j .

A tecnologia dos setores $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$, com $j = 1, \dots, l$, que são vetores coluna de produção líquida unitária, é determinada através de funções de produção, geralmente adotando-se a premissa de retornos constantes à escala – CRS (*Constant Returns to Scale*), que significam funções de produção positivamente homogêneas de grau 1, isto é, $f(\eta x) = \eta f(x)$ para todo $\eta > 0$.

A classe de funções de produção mais utilizada na literatura econômica é a das chamadas funções com elasticidade constante de substituição – CES (*Constant Elasticity of Substitution*). Para modelar a transformação de produtos, na desagregação dos produtos

²³ O índice i refere-se aos bens com $i = 1, \dots, l$

O índice j refere-se aos setores com $j = 1, \dots, n$

O índice k refere-se aos consumidores com $k = 1, \dots, m$

obtidos da produção, usa-se as funções convexas CET (*Constant Elasticity of Transformation*), que são funções com elasticidade constante de transformação.

As demandas condicionais unitárias de insumos são obtidas resolvendo o problema de minimização do custo unitário:

$$\text{Min}_{\mathbf{x}^j} \{ \mathbf{p}^T \mathbf{x}^j : f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{x}^j \geq 0 \} \quad (3.2)$$

Isto é, escolher os insumos \mathbf{x}^j de forma a minimizar os custos, com uma função de produção CES $f^j(\mathbf{x}^j)$.

De modo semelhante ao feito para as demandas condicionais unitárias de insumos, considere-se que a oferta de produtos \mathbf{q}^j do setor j seja dada pela função de produção CET $g^j(\mathbf{q}^j)$, convexa. As ofertas condicionais de produtos unitárias são obtidas resolvendo o problema de maximização do lucro unitário:

$$\text{Max}_{\mathbf{q}^j} \{ \mathbf{p}^T (\mathbf{q}^j - \mathbf{x}^j) : g^j(\mathbf{q}^j) = 1, f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{q}^j, \mathbf{x}^j \geq 0 \} \quad (3.3)$$

Observe-se que a maximização do lucro implica na minimização do custo (Varian, 1992, p. A13).

3.2.4.2- Descrição do consumo

Pelo lado do consumo a economia é definida de forma semelhante à feita pelo lado da oferta, sendo que o vetor de consumo \mathbf{d}^k de cada tipo de consumidor k , com $k = 1, \dots, m$, indica a quantidade de bens que é consumida,

O k -ésimo consumidor irá maximizar a sua utilidade, sujeita à sua renda e restrições de consumo, assumindo que ele é um tomador de preço. Normalmente, a renda é determinada a partir de uma dotação inicial \mathbf{e}^k de fatores primários pelos seus preços de modo que $w^k = \mathbf{p}^T \mathbf{e}^k$.

$$\text{Max}_{\mathbf{d}^k} \{ u^k(\mathbf{d}^k) : \mathbf{p}^T \mathbf{d}^k \leq w^k; \mathbf{d}^k \in \mathbf{X}^k \} \quad (3.4)$$

Dada a hipótese de não saciedade, a restrição orçamentária fica vinculada à solução ótima. Da mesma maneira que no caso das funções de produção, as funções utilidade são usadas indiretamente na formulação matemática do modelo, através das *demandas condicionais de bens*. Da resolução do problema (3.4) para o bem i obtém-se a demanda condicional d_i^k em função dos preços \mathbf{p} e da renda w_k , e,

3.2.4.3- Formalização matemática do modelo de equilíbrio econômico

Introduzindo o conceito de oferta excedente de um bem como sendo a quantidade ofertada menos a quantidade demandada, a *conservação do produto* pode ser expressa, então, como a condição de que a oferta excedente de qualquer bem deve ser zero.

A expressão matemática da oferta excedente $E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w})$, para $i = 1, \dots, l$, definida como a quantidade ofertada menos a quantidade demandada do bem i em função dos preços \mathbf{p} dos bens, dos níveis de atividades \mathbf{z} dos setores produtivos e da renda \mathbf{w} dos consumidores, é:

$$E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = \sum_{k=1}^m e_i^k + \sum_{j=1}^n (aq_i^j(\mathbf{p}) z_j) - \sum_{j=1}^n (ax_i^j(\mathbf{p}) z_j) - \sum_{k=1}^m d_i^k(\mathbf{p}, w^k) \quad (3.5)$$

Onde:

- e_i^k – é a dotação do bem i do consumidor k ,
- $aq_i^j(\mathbf{p})$ – é a oferta condicional do bem i do setor j , obtida de (3.3)
- $ax_i^j(\mathbf{p})$ – é a demanda condicional do insumo i do setor j , obtida de (3.2),
- $d_i^k(\mathbf{p}, w^k)$ – é a demanda condicional do bem i do consumidor k , obtida de (3.4),
- z_j – é o nível de atividade do setor j e
- w^k – é a renda do consumidor k .

Essa dualidade complementar entre a oferta excedente de um bem e seu preço se expressa matematicamente afirmando que seu produto é zero, sendo ambos maiores ou iguais a zero, ou seja, um dos dois efetivamente deve ser zero:

$$p_i E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = 0, \quad \text{com } p_i \geq 0, \quad E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \geq 0, \quad \text{para } i=1, \dots, l \quad (3.6)$$

Nos setores produtivos, a *conservação do valor* implica na *condição de lucro zero* – onde o valor dos bens produzidos deve ser igual à soma dos custos de todos os insumos (bens e fatores) utilizados.

Novamente observa-se uma dualidade entre o lucro de um setor produtivo e seu nível de atividade, que se expressa matematicamente como seu produto sendo zero e o lucro sendo menor ou igual a zero e o nível de atividade sendo maior ou igual a zero, ou seja, um dos dois efetivamente deve ser zero:

$$z_j L_j(\mathbf{p}, z_j) = 0, \quad \text{com } z_j \geq 0, \quad L_j(\mathbf{p}, z_j) \leq 0, \quad \text{para } j=1, \dots, n \quad (3.7)$$

No consumo final, a *conservação do valor* implica na *condição de equilíbrio do orçamento dos consumidores* – onde o valor dos bens consumidos deve ser igual à renda decorrente de suas dotações de fatores primários.

A renda do consumidor k é obtida multiplicando sua dotação e^k pelos preços \mathbf{p} dos bens. Assim, a expressão da renda w^k do consumidor k em função dos preços \mathbf{p} e suas dotações e^k , para $k = 1, \dots, m$, é:

$$\mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \quad (3.8)$$

Assim, o conjunto de equações complementares e de igualdade (3.6), (3.7) e (3.8) compõem o seguinte problema misto de complementaridade não linear que formaliza o equilíbrio econômico:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \geq 0 \\ 0 \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{L}(\mathbf{p}, \mathbf{z}) \geq 0 \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Pode-se formular este sistema utilizando a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$. Os elementos $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$ da matriz $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ são obtidos com os setores maximizando o lucro e minimizando custos, com a oferta condicional unitária e demanda condicional de produtos unitária, respectivamente. A demanda condicional do consumidor $d_i^k(\mathbf{p}, w^k)$ é determinada com os consumidores maximizando sua utilidade. Similarmente a 3.9, tem-se:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{0} \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{A}(\mathbf{p}) \mathbf{z} + \sum_{k=1}^m (\mathbf{e}^k - \mathbf{d}^k(\mathbf{p}, w^k)) \geq \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{p}^T \mathbf{A}(\mathbf{p}) \mathbf{z} \geq \mathbf{0} \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

A aplicação de impostos nos insumos e produtos afeta a lucratividade e a escolha de tecnologias nos setores, como também altera a renda dos consumidores que são os destinatários desses impostos. A formulação com impostos exige algumas considerações adicionais, e são apresentadas no anexo I. A formulação de um modelo de equilíbrio geral com a introdução de restrições adicionais para melhor modelar a economia também são apresentadas no anexo I.

3.2.5 – Base de dados, calibração e fechamento.

a) Base de dados

A formulação do modelo de equilíbrio geral computável se dá de forma conjunta com a elaboração de uma base de dados da economia, que é utilizada na calibração e para que sejam realizados choques para analisar a evolução futura da economia.

Dados para um determinado país ou região são muitas vezes organizadas sob a forma de um tabela insumo produto(IP), que apresenta uma imagem estática da economia. No entanto, uma tabela IP não é um modelo. A fim de analisar como funciona a economia e fazer previsões sobre os efeitos das mudanças políticas, um modelo de economia tem de ser criado. As informações contidas na tabela IP fornece uma base para criação de um modelo plausível.

Uma matriz IP descreve os fluxos entre os diversos setores da economia. Ela representa o valor das transações econômicas de um determinado período de tempo. Transações de bens e serviços são discriminados em uso intermediário e final. Uma matriz IP também mostra a estrutura de custos das atividades de produção: insumos intermediários, a remuneração do trabalho e do capital, impostos sobre a produção.

Uma matriz insumo produto só mostra o relacionamento entre as contas de produção e as outras contas (fatores de produção, consumo, governo, investimento, exportação, e importação). Na modelagem econômica geral tradicional, os dados são apresentados sob a forma balanceada de Matriz de Contabilidade Social (Pyatt e Round (1985).

A Matriz de Contabilidade Social, ou SAM do inglês *Social Accounting Matrix*, reflete os princípios do fluxo circular da renda e do equilíbrio econômico. Ela é um sistema de dados desagregados e consistentes dos fluxos de valores interindustriais, dentro de uma economia que está em equilíbrio em um determinado período de referência. Esta matriz representa uma síntese do Sistema de Contas Nacionais - SCN e de informações relativas às empresas e às famílias. Ela é uma versão expandida de uma matriz de insumo-produto que contém informações adicionais sobre as inter-relações entre todas as contas. A elaboração e o balanceamento de uma SAM são discutidos com mais detalhes no Capítulo 5, no que diz respeito à base de dados utilizada neste trabalho.

Em uma SAM as receitas aparecem ao longo de uma linha e as despesas aparecem ao longo de uma coluna. Há uma correspondência exata entre linhas e colunas em uma SAM balanceada. Isto significa que a oferta é igual a demanda de todos os bens e fatores, os pagamentos de impostos equivalem às receitas fiscais, não há excesso de lucro, o valor

de cada despesa do agregado familiar é igual ao valor da renda acrescido de transferências, e o valor das receitas fiscais do governo é igual ao valor das transferências.

A SAM ilustra o processo circular, da demanda levando à produção levando a renda, que por sua vez, leva de volta a demanda. Uma matriz insumo produto tem informações sobre rendimentos de fatores de produção (capital e trabalho), mas não há informações dos proprietários desses fatores. Entre os proprietários são famílias, corporações, governos que podem fornecer capital e cobrar impostos indiretos, e entidades estrangeiras. Como tal, uma matriz IP não apresenta informações sobre a distribuição de renda. A SAM também contém os dados adicionais sobre os pagamentos dos proprietários. Pagamentos surgem a partir de uma variedade de razões: a propriedade de determinados bens, os impostos diretos sobre as empresas e famílias, pensões e transferências. Uma matriz insumo produto tem informações sobre os impostos indiretos, mas não sobre impostos diretos. Os impostos indiretos incidem sobre as despesas do comprador final do bens e serviços ou de bens intermédios comprados pelos produtores. Por outro lado, os impostos diretos são extraídos de renda e constitui, portanto, uma transferência de empresas e famílias para o governo.

Em uma SAM pode-se discriminar as equações de esgotamento do mercado de bens e esgotamento do mercado de fatores, a condição de lucro zero e a condição de equilíbrio orçamentário. Ou seja, em uma SAM pode-se discriminar as equações que formulam um equilíbrio econômico, como pode ser observado no trabalho de (Wing, 2004).

b) Calibração

Um modelo CEG de uma dada economia deve ser calibrado a partir de um banco de dados como a SAM apresentada. O modelo geralmente é especificado em termos de variáveis dependentes e independentes (endógenas e exógenas) e parâmetros. Alguns parâmetros, como por exemplo as elasticidades de substituição dos fatores, são em geral, obtidos da literatura. Outros parâmetros devem ser ajustados de maneira a garantir a aderência dos valores calculados pelo modelo aos valores observados contidos no banco de dados. Este ajuste, necessário para a existência de uma solução de equilíbrio para o modelo, é conhecido como "**calibragem** do modelo". (Bordoni, 2001)

Para a **calibração** de um modelo de equilíbrio geral assume-se que no ano base todos os preços são iguais a 1, existindo uma equivalência entre as equações do modelo e os fluxos de uma SAM. Logo todos os fluxos de valor de uma SAM podem ser tratados como quantidade.

c) Fechamento

Em um modelo econômico deve-se escolher o que será determinado dentro do modelo, as variáveis endógenas, e o que é ser considerado externo ao modelo, as variáveis exógenas. Um modelo é apenas uma maneira de explicar variáveis endógenas em termos de exógenas. A escolha de quais variáveis são exógenas depende de diversos fatores, dentre eles o propósito para o qual as simulações do modelo devem ser usadas. A escolha destas variáveis é chamada **fechamento**. Matematicamente, o fechamento assegura que se tenha equações independentes suficientes para explicar as variáveis endógenas. (Gilbert, 2013)

Ferris e Pang (1997) ressaltam que o sistema (3.10) “têm solução indeterminada e, portanto, se $(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w})$ é uma solução do problema acima, então $(\lambda\mathbf{p}, \lambda\mathbf{z}, \lambda\mathbf{w})$ também é solução para qualquer $\lambda > 0$. Assim, várias estratégias são consideradas na literatura para determinar uma solução: uma estratégia é fixar o preço de um determinado bem, outra é fixar a soma dos preços, e ainda outra é fixar um nível de renda de um dos consumidores”.

Sobre a fixação do preço de um bem, então chamado **numerário**, Melo e Robinson (1989) afirmam que “uma grande variedade de equações de normalização de preços tem sido utilizada. Johansen, em seu estudo pioneiro (1960), fixou o salário do trabalho e, assim, expressou todos os preços em termos de salários. Pode-se, alternativamente, corrigir o preço de qualquer bem e expressar todos os preços em termos deste bem numerário. Na verdade, pode-se normalizar em torno de praticamente qualquer magnitude nominal no modelo da economia, porque isso não afetará nenhuma das variáveis reais”

3.2.6 – Premissas econômicas

Quando se modela a economia alguns princípios econômicos são utilizados. O princípio da otimização, no qual as pessoas tentam escolher o melhor padrão de consumo ao seu alcance. E o princípio de equilíbrio, no qual os preços se ajustam até que o total que as pessoas demandam sejam igual ao total ofertado. (Varian, 2016)

Uma hipótese simplificadora ao se tratar de equilíbrio econômico é assumir que os mercados são competitivos, de modo que tanto consumidores como produtores consideram os preços como dados e otimizam com base nisso. (Varian, 2016)

Alguns pressupostos referente ao comportamento dos agentes são também considerados em um modelo de equilíbrio geral. Os consumidores têm uma dotação inicial dos bens e fatores de produção. Eles ganham a renda da locação dos fatores e do pagamento de dividendos. Em seguida, consumidores compram bens para maximizar sua satisfação ou utilidade. Os produtores usam insumos para transformá-los em bens. Insumos podem ser provenientes de dotações iniciais dos consumidores (ou fatores de produção) ou podem ser bens intermediários produzidos por outras empresas. A produção dos setores é sujeita ao conhecimento tecnológico que tem disponível. O objetivo do produtor é maximizar o lucro. Todos os lucros obtidos são distribuídos aos acionistas. Todos agentes tratar os preços como dados. Ou seja, determinando o comportamento ideal, o agentes acreditam que suas ações não afetam os preços. O terceiro agente econômico, o governo, recolhe as receitas fiscais para maximizar o bem estar social que representa as preferências do estado. O papel dos impostos é redistribuir a renda, em gastos financeiros do governo, para alterar o comportamento do agentes econômicos, e de estabilizar a economia. (Rutherford e Paltsev, 1999).

Nas condições para o equilíbrio econômico a conservação do produto reflete o princípio da não disponibilidade que implica que a produção das empresas são totalmente absorvida pelas famílias e que a dotação das famílias de fatores primários são totalmente empregada pelas empresas. Na conservação do valor é refletida as premissas de retorno constante de escala e de mercados perfeitamente competitivos, implicando que o valor das despesas²⁴ deve ser equilibrado pelo valor dos rendimentos. (Wing, 2004)

Para a existência de um equilíbrio tem-se o pressuposto de que a demanda excedente agregada é uma função contínua. Duas propriedades garantem a continuidade da demanda agregada: A primeira é que os consumidores tenham preferências convexas; A segunda propriedade é que os consumidores sejam pequenos em relação ao mercado (Varian, 2016, pág. 614)). Pode-se então adotar a hipótese de um consumidor representativo.

Em um modelo de equilíbrio geral, na escolha do **numerário**, como pressuposto trabalha-se apenas com preços relativos. A lei de Walras implica que se a demanda se igualar a oferta em $k-1$ mercados, ela terá de se igualar a oferta no mercado final (k -ésimo mercado). Logo, existem k preços, mas somente $k-1$ preços independentes, portanto pode-

²⁴ Despesas de produção no caso dos setores produtivos e despesas de consumo no caso das famílias e governo.

se escolher um dos preços e fixa-lo a uma constante. Este preço é denominado numerário só se trabalhando com preços relativos. (Varian, 2016)

Na **calibração** de um modelo de equilíbrio geral adota-se a premissa de que existe uma equivalência entre as equações do modelo e os fluxos de uma SAM, assumindo-se que no ano de referência todos os preços são iguais a 1. Logo todos os fluxos de valor de uma SAM podem ser tratados como quantidade. (Wing, 2004)

3.3 – Síntese

Os modelos de equilíbrio geral computáveis permitem analisar a inter-relação dos setores econômicos e como os níveis de atividade desses setores variam dado um choque econômico em determinadas variáveis exógenas. O modelo de equilíbrio geral permite simular cenários políticos e econômicos e projetar um equilíbrio futuro da economia e da relação entre os setores, garantindo uma consistência macro e microeconômica.

Com a desagregação apropriada para o setor energético, são possíveis análises mais detalhadas dos insumos energéticos nas cadeias produtivas e os impactos dos energéticos na economia como um todo.

Nesta tese desenvolveu-se um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES), apresentado no capítulo 4, que contempla um módulo de equilíbrio geral computável com um módulo de desagregação estrutural. O módulo de equilíbrio geral é baseado no trabalho desenvolvido por (Rutherford e Paltsev, 1999), formulado como um problema de complementaridade, seguindo a escola neoclássica. Este modelo necessita de uma base de dados consistente e com agregação apropriada para análises energéticas, que também foi desenvolvida neste trabalho e é apresentada no capítulo 5.

4 Modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural

O modelo proposto neste trabalho para a projeção de demanda de energia dos setores industriais e análise de políticas²⁵ nos setores econômicos é o MEG-DES – Modelo de Equilíbrio Geral e Desagregação Estrutural. Este modelo é composto por um módulo de equilíbrio geral (MEG) integrado a um módulo de desagregação estrutural (DES).

Este capítulo está dividido em três partes. Na primeira parte é apresentada a estrutura do módulo de desagregação estrutural (DES). Na segunda parte são descritas as atividades de produção e consumo que compõem o módulo de equilíbrio geral (MEG), cuja teoria está sintetizada no capítulo 3. A terceira parte mostra como é feita a integração destes dois módulos.

4.1 – Módulo de equilíbrio geral

O módulo de equilíbrio geral utilizado neste trabalho é baseado no modelo apresentado por Rutherford e Paltsev (1999) para a economia russa, desenvolvendo-se aqui uma aplicação semelhante considerando as características da economia brasileira. O módulo de equilíbrio geral aqui proposto segue a formulação de um modelo de equilíbrio geral apresentada na seção 3.2.4. A modelagem aplicada à economia brasileira é feita a partir dos dados da Tabela de Recursos e Usos de 2009 publicada pelo IBGE que será apresentada na seção 5.1.1.

O modelo estático recria um modelo de equilíbrio econômico de Arrow-Debreu (1954)²⁶. As principais premissas utilizadas são descritas a seguir. Cada consumidor tem uma dotação inicial de bens e um conjunto de preferências, resultando em funções de demanda para cada todos os bens. As demandas do mercado são a soma de todas as demandas dos consumidores. Um agente representativo é introduzido para descrever a

²⁵ Neste trabalho, foi analisado um caso de política fiscal, com redução de impostos, e um caso de política energética, com propostas de programas de conservação de energia.

²⁶ Para uma discussão detalhada, ver Arrow e Hahn (1971) e Shoven e Whalley (1992).

demanda de mercado e as dotações totais. As demandas do mercado de bens dependem dos preços e satisfazem a lei de Walras. Para qualquer conjunto de preços, o valor total das despesas dos consumidores é igual à renda do consumidor. A tecnologia é descrita por funções de produção de retornos constantes à escala. Produtores buscam maximizar os lucros. A homogeneidade zero das funções de demanda e a homogeneidade linear nos preços dos lucros (ou seja, duplicando os preços o lucro dobra) significa que apenas os preços relativos são de alguma importância nesse modelo. O nível do preço absoluto não tem impacto sobre o resultado de equilíbrio. O equilíbrio nesse modelo é caracterizado por um conjunto de preços e níveis de produção de cada setor, tal que a demanda de mercado é igual a oferta para todos os bens. (Rutherford e Paltsev, 1999)

As interações dos agentes econômicos, produtores e consumidores, são descritas por n atividades de produção e consumo, com m bens, definidos de forma a incluir os fatores primários, insumos, produtos e serviços. A modelagem de produção de bens é multiproduto, e os insumos são agregados nas atividades de produção através de funções com elasticidade constante de substituição CES (*Constant Elasticity of Substitution*) e desagregados através de funções com elasticidade constante de transformação CET (*Constant Elasticity of Transformation*)²⁷.

A formulação do modelo é realizada tomando por base a interrelação dos n setores e m bens da Tabela de Recursos e Usos (TRU), que neste trabalho é utilizada na versão de 42 setores e 80 bens para o ano de 2009. A figura 4.1 apresenta uma descrição estilizada da TRU divulgada anualmente pelo IBGE, que será melhor explicada na seção 5.1.1.1, de onde são obtidos os dados para a implementação do modelo MEG-DES. A Tabela de Recursos apresenta a matriz dos bens produzidos (**PRD**) juntamente com os vetores coluna de importações (**IMP**), impostos de importações (**TXM**), impostos sobre produtos (**TXP**), margem de comércio (**TRD**) e margem de transporte (**TRN**). A adição destes componentes formam o vetor coluna de **OFERTA TOTAL**.

A Tabela de Usos apresenta a matriz de insumos intermediário de bens por atividades (**INS**), os vetores linha referentes ao trabalho (**L**)²⁸, ao capital (**K**)²⁹ e aos

²⁷ As elasticidades utilizadas foram de (Rutherford e Paltsev, 1999), com exceção de: Elasticidades entre trabalho e capital (σ_{LK}), entre bens domésticos e importados (σ_{MD}) e as elasticidades preço de demanda das exportações (ϵ_{EX}), que foram calculadas por Bordoni, coorientador desta tese, em trabalho ainda em finalização para publicação e são apresentadas no anexo H; e elasticidade de transformação de (Domingues, 2009).

²⁸ Referenciada como Remunerações na TRU.

²⁹ Referenciada como Excedente operacional bruto e rendimento misto bruto na TRU.

impostos e subsídios à produção (**TXY**)³⁰, todos utilizados para a produção dos bens. A Tabela de Usos apresenta ainda os componentes da demanda final, que são os vetores coluna de exportações de bens e serviços (**EXP**), estoques (**STK**), investimentos³¹ (**INV**), consumo do governo³² (**GOV**) e consumo das famílias³³ (**FAM**). A soma de todos estes componentes com os insumos necessários à produção forma o vetor coluna **DEMANDA TOTAL**.

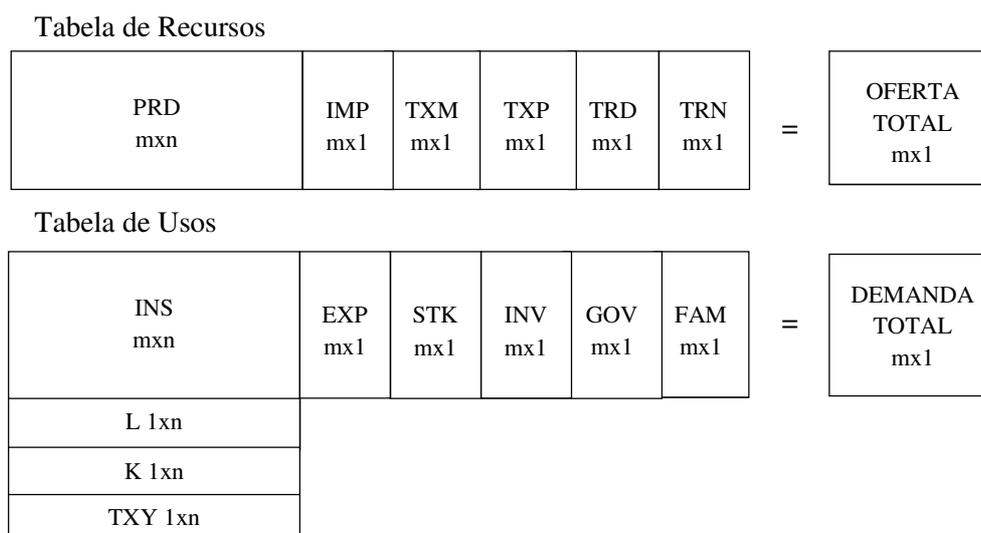


Figura 4.1 : Tabela de Recursos e Usos estilizada com as dimensões de seus componentes.

No processo de calibração utiliza-se a Tabela de Recursos de Usos -TRU- do Brasil para o ano de 2009. A TRU do Brasil é apresentada em valores. Por hipótese, considera-se que no ano base todos os preços são iguais a 1, portanto a TRU pode ser vista como quantidades na descrição do modelo a seguir.

Apresentam-se a seguir na Figura 4.2 as atividades de produção de bens, agregação de bens domésticos e importados, agregação de margens de comércio e transporte, e absorção de bens, que representam a estrutura do módulo de equilíbrio geral, relacionando-as com suas origens na TRU da Figura 4.1.

A produção de bens, em um enfoque por colunas, é descrita para cada um dos n setores produtivos.

³⁰ Os vetores L, K e TXY compõem o Valor adicionado bruto na TRU.

³¹ Referenciada como Formação bruta de capital fixo na TRU.

³² Referenciada como Consumo da administração pública na TRU.

³³ Agregação do Consumo das famílias e Consumo das ISFL na TRU.

A quantidade de trabalho L e a quantidade de capital K são agregadas com elasticidade de substituição σ_{LK} , para cada um dos n setores produtivos formando o fator primário agregado. As elasticidades de substituição entre trabalho e capital σ_{LK} utilizadas são apresentadas no anexo H. O fator primário agregado se combina com os bens a preço de consumidor (INS), que entram como insumos no processo de produção, através de uma agregação de Leontief ($\sigma = 0$), resultando na produção de bens, como em (Rutherford e Paltsev, 1999).

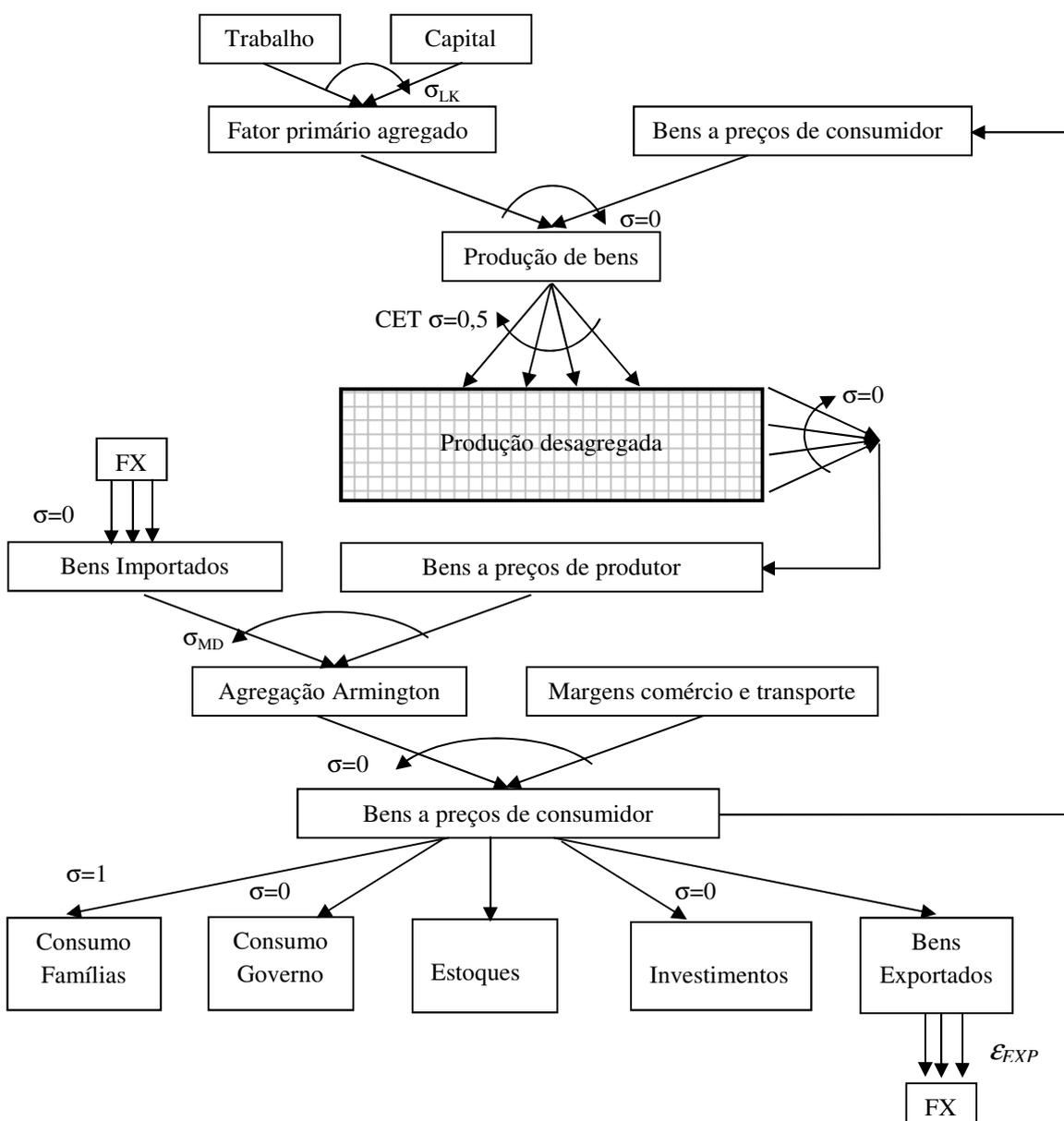


Figura 4.2 : Estrutura do Módulo de equilíbrio geral

A produção de bens é desagregada nos m bens produzidos com uma elasticidade de transformação CET $\sigma = 0,5$, como calculada por (Domingues, 2009) e utilizadas em (Ribeiro, 2015) e (Magalhães, 2013), resultando na matriz multiproduto **PRD**. Observe que sobre cada um dos m bens produzidos ocorre a incidência de um imposto sobre os bens produzidos (**TXY**).

Mudando-se o enfoque de n setores para os m produtos obtemos a descrição a seguir.

Na matriz de produção dos bens desagregada (**PRD**), em cada linha, um determinado bem produzido por todos os setores é agregado através de uma elasticidade de Leontief ($\sigma = 0$), formando um bem agregado resultante. Repetindo-se o procedimento para todas as linhas obtém-se os bens a preço de produtor, que equivale a um vetor coluna de toda a produção doméstica.

A agregação dos m bens domésticos a preço de produtor, com os bens importados (**IMP**) é realizada em cada linhas, agregando-se os bens domésticos aos bens importados com a elasticidade entre bens domésticos e importados σ_{MD}^{34} , apresentada no anexo H, resultando no agregado de Armington³⁵. Nos bens importados incidem os impostos de importação (**TXM**). No agregado de Armington incide o imposto sobre o consumo (**TXP**). Observe-se que os bens importados são obtidos livremente por m atividades lineares de um bem **FX** estrangeiro representativo, sobre os quais incidem os impostos de importação (**TXM**).

A formação do vetor coluna dos bens a preços do consumidor (**OFERTA TOTAL**) é realizada através de uma agregação das margens de comércio (**TRD**) e transportes (**TRN**) ao agregado de Armington, com uma elasticidade de Leontief ($\sigma = 0$). Nota-se que no agregado de Armington já incidiram os impostos de importação e consumo, que com as margens de comércio e transporte, formam os bens a preço de consumidor.

A absorção dos bens no mercado pode ser representada através de seis opções. O bem pode ser destinado: 1) ao consumo das famílias (**FAM**); 2) ao consumo do governo (**GOV**); 3) aos investimentos (**INV**), 4) aos estoques (**STK**), 5) às exportações (**EXP**), ou 6) pode retornar a cadeia produtiva como insumo intermediário (**INS**). A absorção dos bens é representada na Tabela de usos com todas as suas componentes.

³⁴ Assume que, para cada bem, a substituição entre o bem importado e o doméstico pode ser feita por uma elasticidade de substituição “Armington de mercado” representativa do mercado desse bem.

³⁵ Armington (1969) propôs que, para cada bem, a substituição entre o bem importado e o doméstico tivesse uma elasticidade de substituição específica para cada setor.

A agregação do bem representativo do consumo das famílias é feita através de uma elasticidade de substituição Cobb-Douglas ($\sigma = 1$), para os m bens a preço de produtor, como proposto no modelo original de (Rutherford e Paltsev, 1999).

As agregação do bem representativo do consumo do governo, é modelado através de uma função de Leontief ($\sigma = 0$). Os investimentos são formulados similarmente ao consumo do governo, como em (Rutherford e Paltsev, 1999).

As exportações dos m bens são representadas através de funções com elasticidade preço de demanda ε_{EXP} , apresentadas no anexo H, que transformam os bens domésticos demandados em um bem FX estrangeiro representativo, como apresentado no ORANIG03 (Horridge, 2005).

A Figura 4.3 apresenta a estrutura do consumidor representativo, que balanceia o consumo das famílias, o consumo do governo e os investimentos – agregados com uma função utilidade do tipo Cobb Douglas – com a renda derivada das dotações de trabalho e capital, dos estoques, do balanço de pagamentos entre exportações e importações (FX) e dos impostos sobre a produção, consumo e importações.

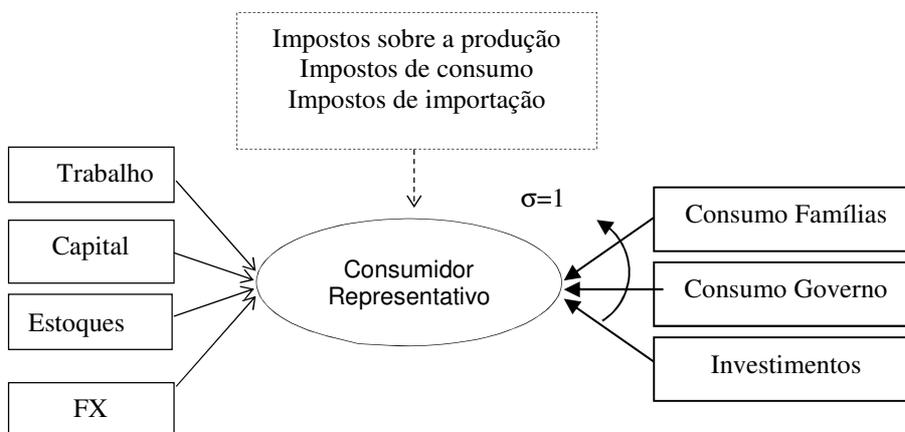


Figura 4.3: Balanço de consumo e renda do consumidor representativo.

4.1.1- Considerações complementares sobre o módulo de equilíbrio geral

As considerações a seguir dizem respeito a detalhes e particularidades dos procedimentos computacionais para a utilização do modelo e também acerca da condução dos experimentos contrafactuais³⁶.

O modelo de equilíbrio geral aqui apresentado é estático. Ele está implementado no pacote computacional MPSGE/GAMS (Rutherford, 1994), cujo método de resolução segue a metodologia neoclássica, formulado como um problema misto de complementaridade. Observe-se que o MPSGE/GAMS não requer a programação das equações algébricas descritas no capítulo 3 nem a calibragem das funções CES, pois elas são feitas pelo pacote, sendo necessárias apenas a descrição das atividades econômicas na linguagem de modelagem MPSGE e o fornecimento dos valores dos fluxos econômicos através de planilhas de dados em Excel.

a) O fechamento do modelo

O fechamento do modelo é feito de forma que o PIB³⁷ e as dotações dos fatores primários do agente representativo, trabalho e capital, são exógenos. O consumo do governo, os investimentos e o balanço de importações e exportações também são mantidos constantes. (Rutherford e Paltsev, 1999)

O fechamento macroeconômico do modelo é realizado a partir da demanda do agente representativo da figura 4.3 que determina que toda a renda recebida pelo agente representativo na forma de renda dos fatores produtivos e transferências ao governo deve ser totalmente esgotada pelo consumo de bens e demanda de investimentos. Ou seja, o balanço dos rendimentos do agente representativo determina que:

O consumo das famílias mais o consumo do governo mais os investimentos correspondem à: renda dos fatores trabalho e capital mais balanço de importações e exportações mais estoques mais impostos.

O fechamento macroeconômico apenas mostra a identidade que a demanda agregada da economia deve igualar-se à renda.³⁸

b) A inicialização do modelo

³⁶ Comumente chamados “choques”, em modelos de equilíbrio geral.

³⁷ O uso de uma restrição adicional para fixar exogenamente o PIB é discutido no anexo J

³⁸ Semelhante ao fechamento realizado no modelo PAEG de (Gurgel, 2013)

Segundo (Rutherford, 1987), em um problema de complementaridade, resolvido como uma sequência de problemas linearizados, necessita-se de um ponto inicial que se refere aos preços dos bens e níveis de atividades dos setores. Em cada iteração encontra-se, a partir do ponto inicial, um ponto final, que será o ponto inicial da iteração seguinte. Resolvendo essa sequência de problemas linearizados o método converge para a solução do problema não linear original.³⁹

Para realizar a simulação de um cenário com o MPSGE/GAMS, além da inicialização dos preços dos bens e níveis de atividades dos setores que é feita automaticamente, é necessário também fornecer os valores iniciais dos componentes da renda, dos gastos e da demanda do consumidor representativo, como indicado em (Rutherford e Paltsev, 1999).

O modelo é construído de forma que para cada cenário é realizado um choque nas variáveis exógenas. Utilizando um ponto inicial o modelo encontra os preços dos bens e níveis de atividades de produção de equilíbrio satisfazendo as imposições das variáveis exógenas.

Os valores iniciais aplicados nos choques são variações percentuais dos elementos que compõem a renda e a demanda do consumidor representativo, determinadas através da Matriz de Contabilidade Social média em percentuais do PIB, que é detalhada na seção 5.5, tabela 5.4. Para cada cenário analisado tem-se um PIB projetado, e nele se aplica a SAM média para obter os valores iniciais para cada ano de choque. Estes valores iniciais reproduzem as relações macroeconômicas da SAM média. Note que, a partir do valor inicial, o MEG irá calcular um valor final para as variáveis endógenas que satisfazem os choques propostos.

O modelo MEG-DES foi calibrado utilizando como ano base 2009, com a TRU 2009. O numerário escolhido foi o preço do trabalho, e todos os outros preços são preços relativos a este.

³⁹ O método de otimização de Newton, na busca pela direção de mais descida, necessita de um ponto inicial para a resolução do problema de otimização. Neste caso, se o ponto inicial for suficientemente próximo da solução o algoritmo convergirá mais rápido.

4.2 – O módulo de desagregação estrutural

O módulo de desagregação estrutural (DES), também conhecido pela designação “decomposição estrutural”, é um modelo de projeção misto econométrico-simulação⁴⁰ que utiliza a análise retrospectiva de indicadores para balizar as suas projeções que são geralmente apresentadas para diversos cenários. Baseado em uma série histórica dos principais indicadores econômicos e técnicos que podem influenciar a demanda de energia, detecta-se sua tendência histórica e, através de regressões estatísticas, extrapolam-se as tendências futuras para estas variáveis. Estas tendências são particularmente úteis na montagem de cenários de referência, denominados “*business as usual*” (BAU). Neste tipo de modelo é possível simular rupturas nos comportamentos das variáveis explanatórias visando simular novas políticas públicas ou diferentes estratégias empresariais, em cenários alternativos de desenvolvimento, o que irá resultar em descolamentos nas projeções da demanda de energia, em relação às projeções feitas no cenário de referência.

Versões mais simples do que a proposta aqui de modelos de desagregação estrutural, com menos parâmetros, têm sido utilizadas por pesquisadores do NIPE/Unicamp em vários projetos, desde a década de 2000 para a análise de demanda de energia no Brasil (Leite *et al.*, 2006a; Leite *et al.*, 2006b; Carvalho e Bajay, 2006; Sharma, 2009; Sharma *et al.*, 2010a, Sharma *et al.* 2010b; Bajay *et al.*, 2014). Um grande atrativo deste tipo de modelo é sua flexibilidade: adotam-se parâmetros para o modelo que melhor se adequem ao grau de desagregação escolhido, à disponibilidade de dados e às necessidades da análise a ser efetuada em cada caso.

Silva *et al.* (2016) utilizam um modelo de desagregação estrutural de base econométrica para projetar a demanda de energia da indústria cimenteira no Brasil. Com o uso de regressões estatísticas e o estudo de diversas possíveis variáveis explanatórias, os autores descreveram o comportamento dos parâmetros econômicos do modelo DES para a projeção da demanda de energia deste segmento industrial.

O módulo de desagregação estrutural utilizado neste trabalho é uma versão mais detalhada do modelo desenvolvido pela autora em sua dissertação de mestrado. Na

⁴⁰ O modelo econométrico utilizado neste trabalho é simples, e se restringe a regressões tendenciais das séries de valor adicionado e de outros fatores que compõem o modelo DES. Entretanto, em outros trabalhos, como o de Silva *et al.* (2016), podem ser utilizadas regressões múltiplas ou o uso aprofundado da teoria de séries temporais.

dissertação de mestrado de Sharma (2009), o modelo foi utilizado para projetar a demanda de energia do setor industrial brasileiro. Este foi dividido em quatorze subsetores energo-intensivos, ou com grande representatividade econômica. Para cada um destes subsetores, foram projetadas as demandas de energia térmica e energia elétrica para um cenário de referência e para outros dois cenários: um pessimista e outro cenário otimista no qual se assumia a adoção de medidas de eficiência energética. O modelo de desagregação estrutural utilizado contemplava os seguintes indicadores técnicos: intensidade energética, intensidade elétrica, consumo energético específico e consumo específico de energia elétrica. Os indicadores econômicos abordados foram o PIB, a participação da indústria no PIB, a participação de um subsetor industrial no setor industrial e o valor unitário de produção de determinados subsetores. Hipóteses de manutenção de tendências, ou de possíveis rupturas foram assumidas nos cenários analisados. A consistência macroeconômica foi buscada em estudos de referência para o crescimento da economia nacional.

Como um desdobramento evolutivo do trabalho anterior, neste trabalho propõe-se utilizar o modelo de desagregação estrutural conjuntamente com o modelo de equilíbrio geral para a projeção da demanda de energia, garantindo através do MEG a consistência macro e microeconômica. No modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) proposto neste trabalho, o módulo de desagregação estrutural utiliza alguns indicadores adicionais que não foram abordados no trabalho anterior. O modelo integrado permite, ainda, a análise do impacto de diferentes políticas públicas nos setores econômicos e também na economia como um todo.

No módulo de desagregação estrutural utilizado neste trabalho a demanda total de energia de um subsetor i de um setor industrial j , $CE_{i,j}$, é projetada através da equação (4.1):

$$CE_{i,j} = \left(\frac{CE_{i,j}}{PF_{i,j}} \right) \cdot \frac{VA_{i,j}}{VA_j} \cdot \frac{VA_j}{VA_{ind.trans.}} \cdot \frac{VA_{ind.trans.}}{VA_{ind.}} \cdot \frac{VA_{ind.}}{PIB_{pb}} \cdot \frac{PIB_{pb}}{PIB} \cdot PIB \quad (4.1)$$

Onde:

$PF_{i,j}$: Produção física do subsetor i do setor industrial j ;

$VA_{i,j}$: Valor adicionado do subsetor i do setor industrial j ;

VA_j : Valor adicionado do setor industrial j ;

$VA_{ind.trans.}$: Valor adicionado da indústria de transformação;

$VA_{ind.}$: Valor adicionado da indústria;

PIB_{pb} : Produto interno bruto a preços básicos; e

PIB : Produto interno bruto.

Alguns setores industriais heterogêneos⁴¹ foram desagregados em subsetores com cadeias produtivas semelhantes e as projeções das suas demandas de energia foram obtidas com o auxílio da equação (4.1). Outros setores industriais, cujos produtos e processos de fabricação são relativamente homogêneos⁴², como é o caso da indústria de cimento, não foram desagregados em subsetores.

O módulo de desagregação estrutural relaciona o consumo de energia com as variáveis econômicas indicadas na equação (4.1).

O PIB resume o comportamento da economia como um todo, influenciando o desempenho econômico de todos os segmentos industriais. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), o PIB do Brasil, sob a ótica da renda, é a soma de duas parcelas: o total de impostos que incidem sobre produtos e o total dos valores agregados dos setores produtivos, que inclui impostos e subsídios que incidem sobre a produção. Essa segunda parcela é referenciada na literatura como sendo o PIBpb – Produto Interno Bruto a preços básicos, ou valor adicionado bruto. Enfatize-se que o PIBpb não inclui o valor dos impostos sobre produtos, sendo por essa razão considerado mais adequado para analisar o comportamento conjunto do valor adicionado dos setores produtivos.

Através do quociente $\frac{PIB_{pb}}{PIB}$ pode-se simular alterações futuras na participação dos impostos sobre produtos, tais como ICMS, IPI, PIS/Confins e impostos de importação, no PIB. Observe-se que os impostos e subsídios sobre a produção não são considerados neste quociente, pois a metodologia do IBGE os inclui no valor adicionado setorial.

O quociente $\frac{VA_{ind.}}{PIB_{pb}}$, que apresenta a participação do valor adicionado da indústria no PIBpb, tem diminuído nos últimos anos, por conta do crescimento relativo do setor de serviços. Segundo diversos estudos, no entanto, isto pode se reverter nos próximos anos, por conta do aumento da produção de petróleo e gás, sobretudo na área do Pré-Sal, com um possível efeito alavancador na indústria (Bajay *et al.*, 2014).

⁴¹ Setores heterogêneos são setores com uma cadeia produtiva bem diversificada, sendo necessários subdividi-los em cadeias produtivas semelhantes, para as quais seja possível obter dados sobre produção e consumo específico que permitiram a aplicação da equação (4.1).

⁴² Setores homogêneos possuem uma cadeia produtiva mais uniforme.

Simulações à respeito do crescimento futuro da indústria de construção civil⁴³ podem ser feitas com o auxílio do quociente $\frac{VA_{ind.trans.}}{VA_{ind}}$, que apresenta a participação da indústria de transformação no setor industrial como um todo.

O desempenho relativo do segmento industrial j em relação à indústria de transformação como um todo pode ser simulado através do quociente $\frac{VA_j}{VA_{ind.trans.}}$.

Crescimentos maiores, ou menores do valor adicionado do subsegmento i em relação ao valor adicionado do segmento j são simulados através do quociente $\frac{VA_{i,j}}{VA_j}$.

O consumo energético específico, $\frac{CE_{i,j}}{PF_{i,j}}$, reflete as opções tecnológicas empregadas no subsegmento i do segmento industrial j e é afetado diretamente por ações, ou programas que trazem ganhos de eficiência energética.

O valor adicionado específico, também chamado em outros trabalhos como valor unitário da produção, $\frac{VA_{i,j}}{PF_{i,j}}$, é o valor unitário da remuneração de trabalho e capital da tecnologia empregada no subsegmento industrial i . Ele reflete as condições de mercado, sobretudo preços, dos insumos primários deste subsegmento industrial.

A desagregação da intensidade energética, $\frac{CE_{i,j}}{VA_{i,j}}$, no quociente entre consumo energético específico e valor adicionado específico é muito conveniente, pois se pode separar a análise de um numerador associado à tecnologia e programas de conservação de energia, da análise de um denominador que reflete as condições de mercado. Isto é possível quando se tem um subsegmento industrial relativamente homogêneo, para o qual se tem dados de produção física e de consumo energético específico.

O consumo energético de um subsegmento muito heterogêneo só pode ser calculado utilizando sua intensidade energética, conforme representado na equação (4.2):

$$CE_{i,j} = \frac{CE_{i,j}}{VA_{i,j}} \cdot \frac{VA_{i,j}}{VA_j} \cdot \frac{VA_j}{VA_{ind.trans.}} \cdot \frac{VA_{ind.trans.}}{VA_{ind}} \cdot \frac{VA_{ind}}{PIB_{pb}} \cdot \frac{PIB_{pb}}{PIB} \cdot PIB \quad (4.2)$$

Com relação à energia elétrica, o consumo do subsegmento i do segmento industrial j , $CELE_{i,j}$, é projetado substituindo o consumo energético específico deste subsegmento, $\frac{CE_{i,j}}{PF_{i,j}}$, pelo seu consumo específico de energia elétrica, $\frac{CELE_{i,j}}{PF_{i,j}}$, na equação (4.1) se o

⁴³ No passado, a construção civil foi fortemente incentivada pelo Programa “Minha Casa Minha Vida” e pelas obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). Neste trabalho a indústria de construção civil não foi considerada como integrante da indústria de transformação.

subsegmento for homogêneo, ou sua intensidade energética, $\frac{CE_{i,j}}{VA_{i,j}}$, pela sua intensidade elétrica, $\frac{CELE_{i,j}}{VA_{i,j}}$, na equação (4.2) se a produção física do subsegmento for heterogênea.

As projeções do consumo total de energia e do consumo de energia elétrica do segmento industrial j são obtidas somando as projeções correspondentes dos seus subsegmentos i .

A parcela de mercado do energético k no subsegmento i do segmento industrial j , $PM_{i,j,k}$, é definida como:

$$PM_{i,j,k} = \frac{CE_{i,j,k}}{CE_{i,j}} \quad (4.3)$$

onde $CE_{i,j,k}$ é o consumo do energético k no subsegmento i do segmento industrial j .

A evolução, ao longo do tempo, de $PM_{i,j,k}$ depende da evolução dos preços relativos dos energéticos consumidos no subsegmento i do segmento industrial j , da disponibilidade destes energéticos, do nível de poluição causado por eles e do seu custo de abate de forma a satisfazer a legislação ambiental vigente, e, eventualmente, de outros fatores, em geral menos importantes (Bajay *et al.*, 2014).

A $PM_{i,j,k}$ pode ser projetada extrapolando a tendência observada no passado, com ajustes baseados em informações qualitativas recentes do mercado, ou, então, através de regressões múltiplas com as variáveis mencionadas no parágrafo anterior. No Brasil, esta segunda alternativa fica prejudicada pela falta de estatísticas a respeito de preços médios da eletricidade e do gás natural nos diversos segmentos e subsegmentos industriais. A projeção da demanda de energia por energético de cada segmento industrial pode ser feita através das projeções das parcelas de mercado $PM_{i,j,k}$ dos energéticos. Este tipo de projeção é um possível desdobramento deste trabalho, que não foi abordado no escopo aqui proposto.

Em segmentos industriais em que não há autoprodução de eletricidade através de unidades de cogeração, ou de termoeletricidade convencional, o consumo total de energia é dado pelo consumo de combustíveis mais o consumo de energia elétrica.

Já em segmentos onde há este tipo de autoprodução de eletricidade, o consumo total de energia corresponde ao consumo de combustíveis mais a energia elétrica adquirida do mercado. Nestes casos, parte do consumo de combustíveis se destina à geração interna de

eletricidade. O consumo total de energia elétrica é a soma da quantidade autoproduzida com a adquirida no mercado.

As projeções da demanda de energia pelo módulo DES foram realizadas com base nas hipóteses adotadas em quatro cenários alternativos de desenvolvimento. No que diz respeito às variáveis explanatórias de caráter econômico do módulo, foram definidos um cenário “*business as usual*” (BAU), no qual são mantidas as tendências detectadas na análise histórica destas variáveis, e um cenário “alternativo” (Alt), no qual hipóteses econômicas alternativas são formuladas para as projeções de cada variável. Com relação à possíveis ganhos futuros de eficiência energética nos subsegmentos industriais analisados, considerou-se um cenário BAU, no qual são mantidas as tendências observadas nos consumos energéticos específicos dos subsegmentos, e um cenário alternativo Alt, onde são adotadas hipóteses sobre reduções desses consumos energéticos específicos, como resultado de acordos voluntários com órgãos governamentais ou associações setoriais.

As análises retrospectiva e prospectiva das variáveis explanatórias econômicas gerais e específicas de cada subsegmento fazem parte da metodologia do módulo DES. As variáveis econômicas gerais, no entanto, são calculadas neste trabalho a partir dos valores de VA_j , $VA_{ind.trans.}$, $VA_{ind.}$, PIB_{pb} e PIB obtidos como resultado dos choques no módulo MEG. A análise de todas as variáveis explanatórias é feita no capítulo 6.

4.3 – Modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural

Os modelos são uma representação simplificada da realidade, e se concentram nas características essenciais que se procura entender. No modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES), proposto neste trabalho, procuramos abordar apenas a variáveis que consideramos essenciais para explicar o consumo de energia. O modelo MEG-DES, que visa aproveitar as vantagens destes modelos e suprir algumas das suas deficiências.

O modelo MEG-DES é composto por dois módulos:

- (i) Módulo de equilíbrio geral (MEG); e
- (ii) Módulo de desagregação estrutural (DES).

O módulo MEG garante a consistência macro e microeconômica, bem como as relações intersetoriais de toda a economia. Ele permite, ainda, analisar o impacto de políticas públicas nos setores industriais, ou na economia como um todo.

Os impactos, no consumo energético futuro, de mudanças no mix de produtos, ou processos de fabricação, assim como de programas que visam melhorar a eficiência energética de segmentos, ou subsegmentos industriais, por outro lado, podem ser avaliados através do módulo DES.

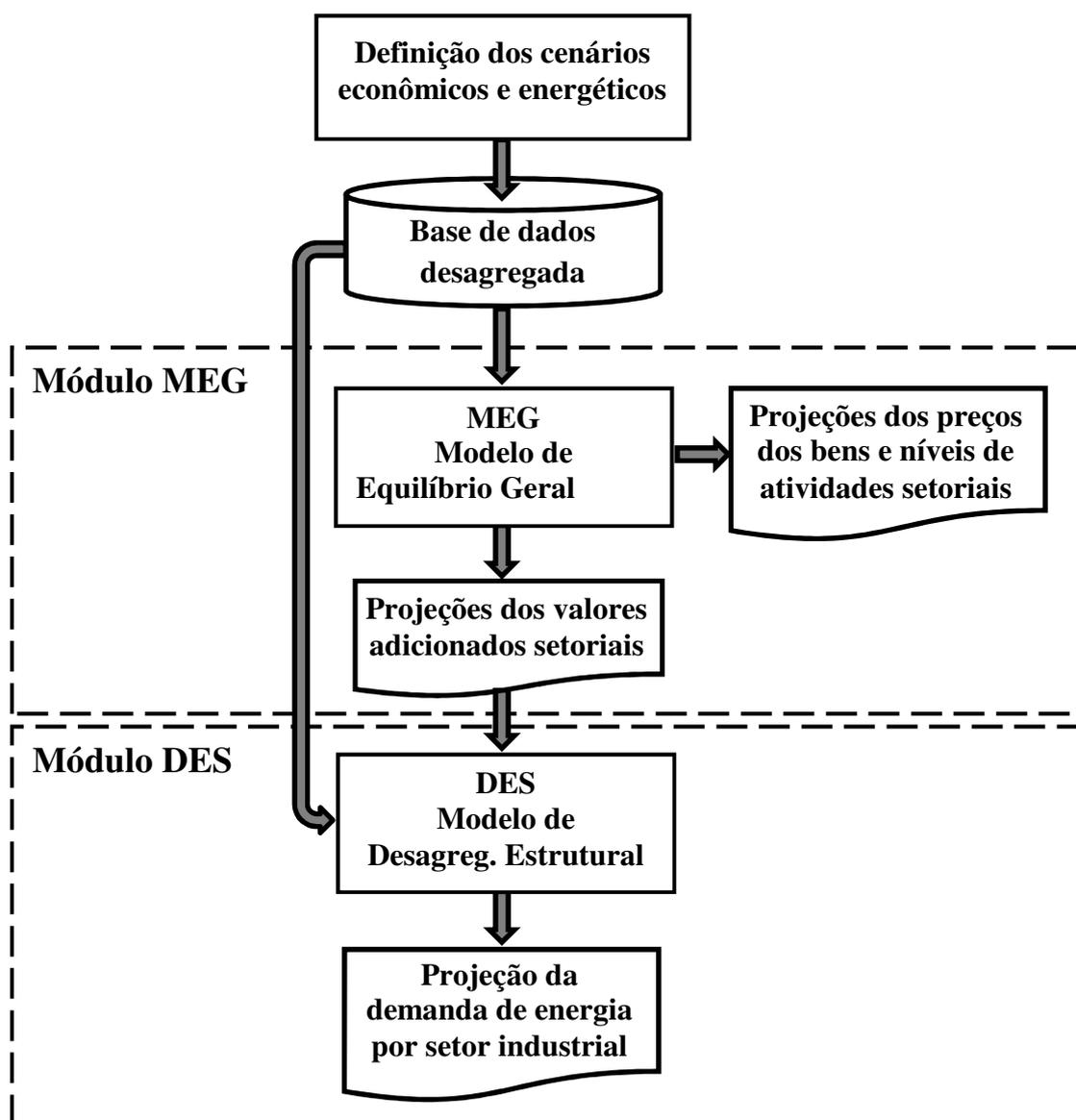


Figura 4.4: Representação esquemática do modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES)

A Figura 4.4 é um fluxograma com a representação esquemática do modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) desenvolvido neste trabalho.

Um passo preliminar à utilização do modelo integrado é a definição de cenários, tanto econômicos como energéticos. Neste trabalho, em ambos os casos, se procurou estabelecer um cenário tendencial, designado como “*Business As Usual*” (BAU), e um possível cenário alternativo de ruptura das tendências, denominado “Alt”. Alguns cenários mundiais e nacionais, tanto econômicos como energéticos, são abordados no capítulo 2

Definidos os cenários econômicos e energéticos que se pretende simular, o PIB projetado é aplicado na Matriz de Contabilidade Social média contida na base de dados desagregados, utilizando o procedimento descrito na seção 5.5, para se obter os valores iniciais projetados nos elementos que compõem a renda e a demanda do consumidor representativo. Caso existam rupturas previstas nas trajetórias tendenciais de arrecadação de impostos nos cenários econômicos, essas rupturas devem também ser aplicadas nos coeficientes de impostos dos setores envolvidos.

Executando-se o primeiro módulo, o MEG, como resultado do equilíbrio econômico projetado obtém-se: (i) os níveis de atividades de produção e os preços dos bens, que podem ser utilizados para análises econômicas complementares, e, principalmente; (ii) os valores agregados setoriais projetados VA_j , $VA_{ind.trans.}$ e $VA_{ind.}$, além do PIBpb e o PIB, que são variáveis explanatórias da demanda energética no módulo DES.

O módulo DES utiliza as projeções destas variáveis explanatórias fornecidas pelo módulo MEG e projeções das demais variáveis explanatórias das equações (4.1) e (4.2), obtidas a partir de regressões do módulo DES, para realizar as projeções da demanda energética dos segmentos e subsegmentos industriais analisados.

4.4 – Síntese

Neste capítulo são apresentadas a metodologia de desagregação estrutural, a formulação do modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES)

proposto neste trabalho, e uma descrição de como é feita a associação dos módulos de equilíbrio geral e desagregação estrutural.

O modelo MEG-DES proposto neste trabalho permite aproveitar as vantagens das abordagens de equilíbrio geral, já comentadas no capítulo 3, e da desagregação estrutural, suprimindo suas deficiências. Este modelo permite analisar a inter-relação dos setores econômicos e como estes variam se determinados cenários político-econômicos ocorrerem. Ele também possibilita realizar análises tecnológicas e energéticas detalhadas, dado o seu elevado grau de desagregação, que é apresentado na seção 5.1 desta tese. Os resultados do modelo são projeções da demanda de energia do setor industrial, desagregado em segmentos e subsegmentos, nos vários cenários de desenvolvimento econômico e energético selecionados, além das variações futuras de preços e quantidades dos produtos de todos os setores econômicos, nestes cenários.

A utilização do modelo MEG-DES só é possível através de uma base de dados confiável e coerente. A base de dados elaborada para esta finalidade neste trabalho possui séries históricas de diversas variáveis, oriundas de diversas fontes, que precisaram ser devidamente compatibilizadas em uma classificação única. A construção desta base de dados é descrita no capítulo 5.

No capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados gerados da aplicação do modelo MEG-DES na economia brasileira.

5 Construção da base de dados

Séries históricas de dados econômicos e energéticos são necessárias para análises e projeções da demanda de energia dos diversos setores da economia. No Brasil, os principais dados econômicos são coletados, tratados e divulgados pelo IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e as principais informações energéticas nacionais são divulgadas pelo MME- Ministério das Minas e Energia, na forma de balanços energéticos.

Uma dificuldade ao se trabalhar com diferentes bases de dados é o de se obter uma compatibilização entre elas. Cada instituição apresenta os seus dados com a classificação dos setores econômicos que lhe parece mais adequada, como nos casos do IBGE e MME. Este trabalho apresenta uma proposta de compatibilização para estas diferentes classificações, que possibilita trabalhar de forma coerente com as informações disponibilizadas tanto pelo IBGE como pelo MME.

Este capítulo descreve as principais bases de dados da economia brasileira divulgados pelo IBGE, como a TRU – Tabela de Recursos e Usos, a PIA – Pesquisa Industrial Anual e as CEI – Contas Econômicas Integradas, assim como os dados energéticos divulgados pelo MME através do BEN – Balanço Energético Nacional.

Apresenta-se também, no capítulo, uma proposta de compatibilização aproximada entre as diversas classificações dessas bases de dados, bem como uma metodologia de desagregação dos valores adicionados dos setores energia intensivos da indústria de transformação em segmentos tecnológica e economicamente homogêneos, juntamente com as séries de valores adicionados desses segmentos obtidas através dessa metodologia.

A compatibilização de classificações proposta neste trabalho e a construção da série de valores adicionados foram desenvolvidas com a participação da autora deste trabalho no projeto de pesquisa Eficind⁴⁴ (BAJAY *et al.*, 2015). Ressalte-se, também, que esta compatibilização e a desagregação até o nível de segmentos dos setores energia intensivos da indústria de transformação são uma contribuição original desse projeto.

São apresentadas, ainda neste capítulo, a metodologia de elaboração das Matrizes de Contabilidade Social (SAM) macroeconômicas e a série de SAM macroeconômicas

⁴⁴ O projeto de pesquisa Eficind foi desenvolvido pelo NIPE - Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Unicamp - Universidade Estadual de Campinas, junto com mais cinco universidades brasileiras, com financiamento da FINEP, para avaliar potenciais de eficiência energética em setores da indústria e do setor de serviços.

resultantes da aplicação desta metodologia, duas outras contribuições originais deste trabalho que são utilizadas para a projeção dos valores iniciais dos fluxos macroeconômicos dos cenários utilizados nas simulações envolvendo o modelo de equilíbrio econômico.

5.1 – As bases de dados utilizadas neste trabalho

Conforme mencionado na introdução deste capítulo, as duas importantes instituições que disponibilizam as bases de dados utilizadas neste trabalho são o IBGE e o MME. Tais bases de dados serão descritas a seguir.

5.1.1 – IBGE

A coleta e compilação dos principais dados da economia brasileira são feitos pelo IBGE, o qual realiza um trabalho de síntese apresentando tabelas com os dados nacionais, divulgadas anualmente através de publicações. Em 2007, o IBGE apresentou uma nova metodologia de estimação do SCN- Sistema de Contas Nacionais, com referência em 2000, o SCN2000 (IBGE, 2007). Uma série contemplando dados até 2009, utilizando esta metodologia, foi publicada posteriormente. Ela caracterizou-se pela amplitude das atualizações introduzidas, pois realizou a mudança de um sistema que vinha sendo estimado basicamente através da extrapolação por índices de volume e preço para um novo sistema que é referenciado por fontes anuais, que permitem representar melhor as variações das séries do SCN. Essa metodologia evita os vieses característicos do uso de índices de volume e preço por períodos demasiado longos.

Em 2015 o IBGE lançou uma nova série do Sistema de Contas Nacionais, Referência 2010, o SCN2010 (IBGE, 2015). Nesta nova divulgação os dados são apresentados de acordo com a classificação CNAE 2.0. Os dados de 2011 a 2014 apresentados pelo IBGE ainda são preliminares, sujeitos a atualizações nos anos posteriores.

O IBGE divulga, no SCN, a TRU - Tabela de Recursos e Usos, a PIA- Pesquisa Industrial Anual e a CEI- Conta Econômica Integrada, além dos resultados de diversas outras pesquisas. Para montar a base de dados que compatibiliza os dados do IBGE com os dados do BEN são utilizadas, neste trabalho, a TRU, a PIA e a CEI, cujos conteúdos são resumidos a seguir.

5.1.1.1 – Tabela de Recursos e Usos

Esta seção apresenta um resumo da metodologia utilizada pelo IBGE, que é detalhada nas notas metodológicas de 1 a 21, publicadas pelo IBGE em 2007. Algumas destas notas foram atualizadas em 2015, em conexão com o Sistema de Contas Nacionais, referência 2010.

Um dos principais objetivos da TRU- Tabelas de Recursos e Usos é permitir a análise dos fluxos de bens e serviços e dos aspectos básicos do processo de produção, envolvendo a estrutura de insumos, a estrutura de produção por atividades e a geração da renda. Dois elementos são fundamentais na construção da TRU: as atividades, ou seja, o conjunto dos processos de produção e demanda, e os produtos, que compreendem o conjunto dos bens e serviços produzidos e demandados. A TRU descreve a circularidade dos fluxos econômicos de acordo com o tripé produção-renda-demanda: a demanda gera produção, que gera renda, que gera demanda. A Figura 5.1 apresenta a disposição de uma TRU.

A tabela de recursos de bens e serviços, Tabela I na Figura 5.1, apresenta a produção, discriminando a origem dos produtos em nacional e importado. A matriz A apresenta a oferta total, com as margens de comércio, transporte, impostos e subsídios associados a cada produto. A matriz A1 apresenta a produção das atividades especificadas por produto. A matriz A2 apresenta as importações.

I - Tabela de recursos de bens e serviços

$$\frac{\text{Oferta}}{\mathbf{A}} = \frac{\text{Produção}}{\mathbf{A1}} + \frac{\text{Importação}}{\mathbf{A2}}$$

II - Tabela de usos de bens e serviços

$$\frac{\text{Oferta}}{\mathbf{A}} = \frac{\text{Consumo intermediário}}{\mathbf{B1}} + \frac{\text{Demanda final}}{\mathbf{B2}}$$

Componentes do valor adicionado

$$\mathbf{C} = \mathbf{A1} + \mathbf{B1}$$

Fonte: Elaboração própria baseada em (IBGE, 2007)

Figura 5.1: Formato da Tabela de Recursos e Usos

A tabela de usos de bens e serviços, Tabela II na Figura 5.1, mostra o equilíbrio entre oferta e demanda, e apresenta todos os insumos e os custos das atividades econômicas detalhadas por produto. Na matriz A desta tabela repete-se a oferta total da Tabela I. A matriz B1 apresenta o consumo intermediário, isto é, os insumos utilizados na produção de cada atividade. A matriz B2 apresenta os bens e serviços que se destinam à demanda final: consumo final das famílias e das administrações públicas, formação bruta de capital fixo, variações de estoques e as exportações.

A matriz C mostra os demais custos de produção, que compreendem a remuneração dos empregados, rendimento misto bruto e o excedente operacional bruto, e os impostos líquidos de subsídios sobre a produção. A produção é composta pelo consumo intermediário mais os componentes do valor adicionado, ou seja, $A1 = B1 + C$. Como informação complementar, é apresentado o total de pessoal ocupado em cada atividade.

A TRU é divulgada em diversos níveis de agregação, sendo que o SCN2000 apresenta desagregações em 12 setores, 43 setores⁴⁵ e 56 setores, com séries de 1996 a 2009 para as duas primeiras, onde os anos de 1996 a 1999 foram obtidos por retroprolação, e de 2000 a 2009 para a terceira. No SCN2010 as desagregações são apresentadas em 12 setores, 20 setores, 51 setores e 68 setores, sendo que apenas para a desagregação em 51

⁴⁵ Na realidade são 42 setores, pois, nesta divulgação, não existe o setor 9, embora essa desagregação seja comumente conhecida como 43 setores.

setores foi publicada, até agora, uma série de 2000 a 2014, onde os dados até 2009 foram obtidos por retroprojeção e os dados de 2010 a 2014 são preliminares. A divulgação da TRU segue o padrão da CNAE - Classificação Nacional das Atividades Econômicas.

Na TRU, a atividade energia elétrica não faz parte do âmbito das pesquisas estruturais do IBGE. Suas estimativas são baseadas em dados de outras fontes de dados, como a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, a empresa Itaipu Binacional e a EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Na TRU, a energia gerada pelos autoprodutores não é incluída, tendo em vista que a maior parte da energia gerada pelos autoprodutores é consumida nessas mesmas empresas, não é negociada em mercado e tem seu valor considerado igual aos custos de produção.

Dentre todas as variáveis abordadas na TRU, duas são de interesse particular, os impostos e subsídios e as margens de transporte e comércio, que são comentadas a seguir.

Com relação aos impostos e subsídios, de acordo com o manual da ONU – Organização das Nações Unidas que define o *System of National Accounts* (SNA, 1993), os impostos sobre a produção e a importação são pagamentos obrigatórios sem contrapartida pagos à administração pública, que os utiliza para fornecer bens ou serviços. Eles são divididos em impostos sobre produtos e em outros impostos sobre a produção (IBGE, 2007).

Os impostos sobre produtos são aqueles pagos quando bens e serviços são comercializados pelos seus proprietários; eles incluem os impostos sobre a importação, cujo pagamento é devido quando os bens entram no território nacional, ou quando os serviços são prestados. Os impostos sobre as atividades de produção abrangem os impostos sobre a mão-de-obra utilizada, ou remunerações pagas e taxas incidentes sobre o exercício de atividades econômicas específicas (IBGE, 2007).

Os impostos sobre a produção e a importação, assim como os outros impostos, são registrados no momento em que são pagos. O valor apurado é a arrecadação líquida do governo, já deduzidas as devoluções e as eventuais restituições.

Os subsídios são transferências correntes das administrações públicas para as unidades de produção mercantil visando reduzir o preço de mercado dos produtos, em um determinado contexto da política socioeconômica. Os subsídios são vistos como impostos negativos sobre a produção, pois o efeito gerado no excedente operacional é o contrário do efeito gerado pelos impostos sobre a produção. Os subsídios são divididos em subsídios a produtos e outros subsídios à produção. Os subsídios a produtos são definidos sobre o valor

dos bens e serviços comercializados no mercado interno; eles reduzem o preço pago pelo consumidor. Os outros subsídios à produção objetivam compensar os custos de produção de forma a garantir o nível de rentabilidade da unidade produtiva, ou apenas zerar seu déficit operacional (IBGE, 2007).

Os impostos arrecadados compõem a renda que o governo possui para gastar na manutenção da administração pública e nos programas de transferências de renda.

Com relação às margens de transporte e comércio, em um sistema de contas nacionais são estabelecidas duas formas de valoração: a preços básicos (também aqui referenciado como preços de produtor) e a preços de consumidor. O preço básico é igual à soma dos custos dos bens e serviços utilizados e da remuneração dos fatores de produção acrescido dos impostos líquidos sobre os produtos pagos pelo produtor. O preço de consumidor é o preço total pago pelo usuário, ou seja, o preço básico acrescido das margens de comércio e transporte e impostos líquidos sobre produtos. Nas TRUs do SCN os dados de oferta são registrados a preços básicos e os dados de consumo a preços de consumidor (IBGE,2007).

As margens de comércio e de transporte são agregadas por produto; portanto, é necessário considerar as atividades secundárias de comércio e de transporte das demais atividades. Por exemplo, se há uma atividade de comércio nas empresas industriais, a receita correspondente deve ser considerada no cálculo da sua margem de comércio. Se há uma atividade de transporte por parte das empresas industriais, esta deve ser considerada na sua margem de transporte.

5.1.1.2 – Pesquisa Industrial Anual

A PIA - Pesquisa Industrial Anual é realizada através de amostras de segmentos industriais da economia. Esta pesquisa começou a ser divulgada em 1967, mas foi a partir de 1981 que ela começou a ser elaborada através de uma amostragem probabilística de estabelecimentos. As informações de bens e serviços são apresentadas segundo a nomenclatura Prodlist- Lista de nomenclatura das indústrias, com cerca de 3500 denominações, e que é baseada na classificação CNAE, onde as classes de atividades são identificadas por códigos de quatro dígitos. Os bens e serviços da Prodlist são

identificados por códigos de oito dígitos, nos quais os quatro primeiros correspondem às classes de atividades CNAE, e os quatro dígitos seguintes dizem respeito aos produtos da classe. A PIA é publicada na forma da PIA-Empresa, que apresenta os dados das atividades das empresas conforme a classificação CNAE, e na forma da PIA-Produto, que contempla os dados de bens e serviços conforme a classificação Prodlist.

Ao longo do tempo, com as modificações que se verificaram na economia devido ao crescimento dos setores de serviços em relação aos setores de transformação, mostrou-se necessária uma reformulação da classificação CNAE para melhor representar o conjunto de atividades e produtos da economia brasileira. Na nova classificação, CNAE 2.0, agregaram-se algumas classes de atividades e produtos e outras tantas foram desagregadas em função de sua representatividade, além de ter sido feita uma reorganização da ordem das classes e a conseqüente mudança de códigos para ressaltar a maior importância econômica das atividades de serviços sobre as atividades de transformação.

Dessa maneira, tem-se uma série de dados da PIA de 1996 a 2007 seguindo a classificação antiga, isto é CNAE 1.0, e outra de 2008 a 2014 conforme a CNAE 2.0. O IBGE apresenta uma tabela de correspondência entre as versões 1.0 e 2.0 da CNAE, mas ressalta a impossibilidade de uma correspondência exata entre elas.

Entretanto, analisando-se as duas classificações sob o ponto de vista da intensidade do uso de energia das atividades, observa-se que as atividades das indústrias extrativista e de produção de bens de base e capital – que se caracterizam por serem energo-intensivas – da CNAE 1.0 e da CNAE 2.0 mantém uma correspondência muito próxima, ao passo que as maiores diferenças se concentram nos setores de produção de bens de consumo e nos serviços, cuja intensidade no uso da energia é menor. Ademais, como os dados de energia do BEN são disponibilizados para os setores produtores de bens de consumo agregados como “Outros” da indústria e os setores de comércio e serviços agregados sob o rótulo “Comercial”, a reorganização e alterações internas a esses agregados de setores não causam impacto nas projeções de energia. Assim, a tabela de correspondência entre as atividades industriais das classificações CNAE 1.0 e 2.0 aqui proposta é uma adaptação daquela apresentada pelo IBGE baseada nessa observação e deve ser usada para análises de uso de energia com os dados do BEN, podendo não ser adequada para outros tipos de análises.

5.1.1.3 – Contas Econômicas Integradas

O SCN também apresenta uma visão de conjunto da economia, que é fornecida pelas Contas Econômicas Integradas (CEI). Em uma única tabela são dispostas, em colunas, os setores institucionais agregados da seguinte forma: empresas financeiras, empresas não financeiras, administração pública, famílias, IFSFL- Instituições Financeiras Sem Fins Lucrativos e o resto do mundo (ROW- *Rest of World*). Nas linhas figuram as operações, saldos e alguns agregados, descritos na coluna central da tabela. A tabela da CEI tem suas contas divididas em recursos, do lado direito, e usos, do lado esquerdo. No lado direito apresenta-se as receitas dos setores institucionais, em cada operação. Do lado esquerdo apresenta-se os pagamentos dos setores institucionais em cada operação.

Neste trabalho, as CEIs são utilizadas, juntamente com as TRUs, para a elaboração das Matrizes de Contabilidade Social, aqui chamada de SAM - do inglês *Social Accounting Matrix*.

Concluindo esta apresentação das principais tabelas publicadas pelo IBGE, vale mencionar que o instituto também realiza pesquisas em amostras de alguns outros setores da economia, fora o industrial, como a PAS- Pesquisa Anual de Serviços e a PAC- Pesquisa Anual de Comércio, dentre outras, que não são utilizadas nesta tese.

5.1.2 – O Balanço Energético Nacional, o Plano Decenal de Expansão de Energia e o Plano Nacional de Energia

A EPE - Empresa de Pesquisa Energética é uma empresa estatal que coleta, processa e analisa dados energéticos que formam a base de diversos estudos e planos que ela elabora para o MME. O BEN - Balanço Energético Nacional, publicado anualmente, é um destes trabalhos da EPE para o MME. O Balanço apresenta séries históricas de estatísticas de oferta e de demanda de energia, desagregados por tipos de energéticos e por setores da economia (EPE/MME, 2017).

A EPE desenvolve e o MME publica anualmente um PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia, que traz projeções da demanda e da oferta de energia para um

horizonte de planejamento de dez anos. As informações contidas neste plano subsidiam as decisões do MME quanto à realização de leilões de novas usinas geradoras, novas linhas de transmissão, novas áreas para exploração de petróleo e gás e aquisição de biodiesel para mistura com o óleo diesel. O PDE mais recente, o PDE2026, apresenta projeções até 2026 (EPE/MME, 2017).

Outro plano elaborado pela EPE para o MME é o Plano Nacional de Energia (PNE), que possui uma perspectiva de mais longo prazo. Em 2007 foi publicado o PNE 2030, que apresenta projeções da demanda e da oferta de energia no Brasil até 2030 (EPE/MME, 2007). O PNE 2050, que contempla um horizonte de planejamento até 2050, ainda está em execução. Em 2014 a EPE publicou uma nota técnica sobre cenários econômicos até 2050 (EPE/MME, 2014a) e outra nota técnica sobre projeções da demanda de energia até aquele ano (EPE/MME, 2014b).

Neste trabalho, são utilizados dados de energia fornecidos pelo BEN, enquanto que hipóteses assumidas no PDE e no PNE foram consideradas na formulação dos cenários energéticos e econômicos aqui adotados.

5.2 – A classificação Eficind

Como a classificação dos setores da economia utilizada pelo BEN difere da classificação do IBGE, é necessária uma compatibilização dessas duas bases de dados para a obtenção de uma base de dados econômicos e energéticos coerente e consistente. Esta compatibilização é obtida através da classificação adotada no projeto Eficind, doravante denominada “classificação Eficind”, apresentada na Tabela 5.1. Trata-se de um denominador comum entre as classificações do IBGE e do BEN, obtida pela agregação de alguns setores e desagregação de outros, das classificações tanto do IBGE como do BEN.

O BEN utiliza uma classificação com 17 setores para apresentar o consumo de energia no Brasil, dos quais 11 correspondem a setores industriais energo-intensivos. Utilizando essa mesma estrutura, a classificação Eficind subdivide cada setor energo-intensivo do BEN de acordo com as atividades econômicas da CNAE, obtendo-se subsetores homogêneos tanto com relação ao aspecto econômico quanto às características da tecnologia utilizada, consumo de energia e produção física.

Tabela 5.1: A classificação Eficind dos setores e subsetores da economia

Setores e subsetores	Setores e subsetores
1.0 Setor energético	13.0 Alimentos e bebidas
1.1 Energia primária	13.1 Açúcares
1.2 Energia secundária exceto eletricidade	13.2 Laticínios
1.3 Energia elétrica	13.3 Carnes
2.0 Residencial	13.4 Sucos
3.0 Comercial	13.5 Cervejas
4.0 Público	13.6 Outros
5.0 Agropecuário	14.0 Têxtil
6.0 Transportes	14.1 Fiação
7.0 Cimento*	14.2 Tecelagem
8.0 Siderurgia	14.3 Confecção
8.1 Ferro gusa	15.0 Papel e celulose
8.2 Aço	15.1 Celulose
9.0 Ferroligas*	15.2 Papel
10.0 Mineração e pelotização*	15.3 Embalagens
11.0 Metais não ferrosos	16.0 Cerâmica
11.1 Alumínio	16.1 Vermelha
11.2 Outros	16.2 Sanitária
12.0 Química	16.3 Revestimentos
12.1 Cloro e álcalis	16.4 Outras cerâmicas
12.2 Petroquímicos básicos	17.0 Outros
12.3 Resinas termoplásticas	17.1 Outros
12.4 Fertilizantes	17.2 SIUP
12.5 Outros	17.3 Construção Civil

*Estes setores não são subdivididos por terem atividades CNAE diretamente correspondentes

Fonte: Elaboração própria

Para cada setor se dispõe de informações econômicas e energéticas. Para os subsetores, ou segmentos, além de dados sobre o seu valor adicionado e consumo energético se tem, também, informações sobre suas tecnologias de produção e sua produção física.

5.3 – Compatibilizações

As bases de dados utilizadas nesta tese possuem diferentes classificações. Foi necessário um minucioso trabalho de compatibilização dos setores destas bases de dados para a elaboração de uma base de dados própria, adequada para prover as informações requeridas pela metodologia utilizada para a realização das projeções das demandas de energia setoriais pretendidas na tese.

A objetivo desta etapa do trabalho foi montar uma única base de dados econômicos utilizando as TRUs do SCN que tenha correspondência com os dados energéticos divulgados no BEN.

Esta seção descreve a preparação de tabelas de correspondência para a integração das séries de informações da PIA – Empresa segundo a CNAE 1.0 (2000 a 2007) e a CNAE 2.0 (2008 a 2013) e da TRU nas desagregações TRU43 (2000 a 2009) e TRU51 (2000 a 2013), com a finalidade de se obter séries de valores adicionados dos subsetores da classificação Eficind de 2000 a 2013 que possam ser utilizados em correspondência com os dados energéticos divulgados no BEN, com a finalidade de realizar projeções da demanda energética setorial.

As três tabelas de correspondência do SCN2000 adequadas para utilização neste trabalho, disponibilizadas pelo IBGE através da Comissão Nacional de Classificações - Concla, são a correspondência entre as CNAE 2.0 e 1.0, a correspondência entre os setores da TRU43 com as atividades econômicas da CNAE 1.0 e a correspondência entre os setores da TRU56 com as atividades econômicas da CNAE 1.0, que são referenciadas adiante como as tabelas CNAE2 x CNAE1, TRU43 x CNAE1 e TRU56 x CNAE1, as duas últimas para os anos de 2003 a 2007 (Concla/IBGE, 2017). Observe-se que antes de 2003 os códigos de algumas atividades da CNAE 1.0 eram diferentes dos atuais, devendo, então, ser utilizada uma tabela CNAE 1.0 adequada, aqui indicada por um “*”; portanto, também são utilizadas as tabelas TRU43 x CNAE1* e TRU56 x CNAE1*, para os anos de 2000 a 2002.

Contudo, a correspondência CNAE2 x CNAE1 publicada pelo IBGE não é unívoca, ou seja, uma determinada atividade da CNAE 2.0 pode levar a mais de uma atividade da CNAE 1.0. Em geral isso não causa problemas, pois as diversas atividades da CNAE 1.0 quase sempre levam ao mesmo setor da TRU43. No entanto, algumas exceções foram encontradas e analisadas caso a caso, sendo que, para cada setor da CNAE 2.0 que leva a diversos setores da CNAE 1.0 foi considerado o setor TRU43 predominante, conforme as hipóteses que estão descritas no Anexo A. Para todas as atividades em que não há uma correspondência unívoca entre a CNAE 2.0 e a CNAE 1.0, a correspondência criada foi analisada ao nível de produtos, de acordo com a classificação Prodlist que expande a CNAE 2.0 em cerca de 3500 produtos.

A tabela CNAE2 x CNAE1 unívoca obtida pelo procedimento descrito acima é utilizada para obter a correspondência entre os setores da TRU43 com as atividades da

CNAE 2.0, ou seja, a tabela TRU43 x CNAE2 e, através de um procedimento semelhante, também a tabela TRU56 x CNAE2, ambas aplicáveis para os anos 2008 e 2009. Observe-se que a tabela CNAE2 x CNAE1 unívoca seria desnecessária caso o IBGE publicasse tabelas de correspondência TRU x CNAE2.

No SCN2010, a Concla não disponibilizou, até o momento, a correspondência da CNAE 2.0 com nenhuma das desagregações da TRU. No entanto, com base nas considerações apresentadas na seção 2.2, é possível obter-se uma aproximação comparando a TRU56 do SCN2000 com a TRU51 do SCN2010 através de simples agregações, pois as duas possuem setores industriais muito semelhantes, diferindo principalmente nos setores produtivos de bens de consumo e serviços. Assim, a partir da correspondência TRU56 x CNAE2 é obtida uma correspondência aproximada TRU51 x CNAE2, aplicável para os anos de 2000 a 2013.

As três últimas tabelas de correspondência utilizadas neste trabalho associam os subsetores energéticos da classificação Eficind com as atividades econômicas da CNAE: Eficind x CNAE1* (2000 a 2002), Eficind x CNAE1 (2003 a 2007) e Eficind x CNAE2 (2008 a 2013). Elas foram elaboradas com base em associações dos segmentos energo-intensivos do BEN com os setores da TRU (PATUSCO, 2011) e em análises realizadas no âmbito do projeto Eficind.

Obteve-se uma tabela, apresentada no Anexo B, com a compatibilização das correspondências, sob o aspecto energético: CNAE 2, CNAE 1, TRU43-2007, TRU51-2010, BEN e Eficind.

5.4 – Obtenção das séries de valores adicionados.

Embora os resultados da PIA – Empresa sejam de uma amostra que abrange quase todo o setor industrial brasileiro, seus dados são utilizados neste trabalho na forma de participações percentuais aplicadas aos totais dos setores industriais disponibilizados na TRU, que representam toda a economia brasileira.

O procedimento descrito a seguir visa obter o Valor Adicionado (VA) das atividades energo-intensivas industriais conforme a classificação Eficind. Para isso, o

Valor da Transformação Industrial (VTI) é utilizado como uma medida indireta do VA, tendo em vista que a PIA – Empresa apresenta o VA somente a partir de 2008.

O primeiro passo deve ser feito para todos os setores industriais da TRU e requer o uso da tabela TRU x CNAE. Para um determinado setor da TRU e o conjunto de atividades econômicas da PIA – Empresa a ele associadas, o VA de cada atividade desse conjunto é estimado como a participação percentual do VTI da atividade no VTI total do conjunto, aplicada ao VA do setor da TRU considerado.

O segundo passo deve ser feito, com o auxílio da tabela Eficind x CNAE, para todos os subsetores da classificação Eficind. Para cada um destes subsetores e o conjunto das atividades econômicas da PIA – Empresa a ele associadas, o VA é obtido somando-se os VA dessas atividades da PIA – Empresa obtidos no passo anterior.

Esses dois passos devem ser repetidos para todos os anos, de maneira que a construção da série de 2000 a 2013 é feita por partes através do uso das tabelas descritas na seção 3.2.

A tabela do Anexo B apresenta a compatibilização das classificações utilizadas para a obtenção dos VAs. No Anexo C é apresentado a metodologia para a obtenção dos VAs. As séries de valores agregados segundo a classificação Eficind, de 2000 a 2013, obtidas utilizando o procedimento descrito nesta seção estão no Anexo D.

5.5 – Elaboração das Matrizes de Contabilidade Social

A Matriz de Contabilidade Social, ou SAM, é um sistema de dados desagregados e consistentes dos fluxos de valores intersetoriais, dentro de uma economia em equilíbrio, em um determinado período de referência. Ela representa uma síntese do SCN, de informações relativas às empresas, ao governo e às famílias. É uma versão expandida de uma matriz insumo-produto, que contém informações adicionais sobre as inter-relações entre todas as contas.

A metodologia de elaboração e balanceamento da Matriz de Contabilidade Social aqui utilizada é baseada no trabalho de Fontana *et al.* (2005). Há uma correspondência exata entre linhas e colunas em uma SAM balanceada. Isto significa que a oferta é igual a demanda de todos os bens e fatores, os pagamentos de impostos equivalem a receitas

fiscais, não há excesso na produção de lucros, o valor de cada despesa do agregado familiar é igual ao valor da renda acrescido de transferências, e o valor das receitas fiscais do governo é igual ao valor das transferências.

Na Matriz de Contabilidade Social apresentada na Tabela 5.2 considera-se a hipótese de uma economia de mercado livre, que é composta por atividades, cada uma das quais produz seu próprio tipo de produto, os fatores primários são compostos por trabalho e capital, e os agentes econômicos estão representados pelas famílias, empresas, governo e ROW.

Para a elaboração da Matriz de Contabilidade Social foi considerada a igualdade das receitas e das despesas, conforme a metodologia apresentada a seguir. Em cada conta de um determinado setor da SAM, as linhas representam as receitas e as colunas os pagamentos.

No bloco denominado produção constam os setores de atividades e os produtos. O bloco de fatores é composto por trabalho e capital. Os agentes econômicos representados na SAM são as famílias, as empresas, o governo, e o ROW- *Rest of World*, que representa as contas do Brasil com o exterior como se este fosse um único agente. A SAM contempla, ainda, a conta de capital agregada.

Na agregação das SAMs utilizadas neste trabalho considera-se apenas uma atividade. No entanto, ela pode ser desagregada conforme a TRU, em quantos setores se fizerem necessários. Neste caso, as células que compõem a linha e a coluna de atividades seriam, na verdade, matrizes.

Nas contas das atividades, as receitas são compostas pelas vendas domésticas de bens e serviços somadas com as exportações. Os pagamentos das atividades são apresentados nas colunas e representam a soma do consumo intermediário, remunerações, que se compõem dos salários mais as contribuições deles decorrentes, excedente operacional bruto, e outros impostos e subsídios sobre a produção.

Nas contas dos produtos, as receitas são compostas pelo consumo intermediário, consumo final das famílias e das IFSFL - Instituições Financeiras Sem Fins Lucrativos, consumo da administração pública, investimentos e variação de estoques. Os pagamentos dos produtos representam a soma de vendas domésticas, impostos sobre bens e serviços, e importação de bens e serviços.

Tabela 5.2: A Matriz de Contabilidade Social estilizada adotada nesta tese

De Para	Produção		Fatores		Conta-corrente dos agentes			Conta capital agregada
	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Governo	Exterior	
	A	P	L	K	HH	GOV	ROW	CAP
Produção	A	Vendas domésticas					Exportações	
	P	Consumo intermediário			Consumo privado	Consumo público		Investimento
Fatores	L	Remuneração doméstica (salários e contribuições)					Remunerações pagas pelo ROW	
	K	EOB - Excedente Operacional Bruto					Lucros distribuídos pagos pelo ROW	
Conta-corrente dos agentes	HH		Remuneração do trabalho doméstico	Lucros distribuídos		Transferências do governo às famílias	Transferências do ROW às famílias	
	GOV	Tributos sobre faturamento e valor adicionado	Tributos sobre vendas e importações		Tributos sobre renda das famílias e lucro das empresas			
	ROW		Importações	Remuneração do trabalho paga ao ROW	Remessas de dividendos e royalties	Transferências das empresas ao ROW	Transferências do governo ao ROW	
Conta capital agregada	CAP				Poupança das famílias e empresas	Poupança do governo em conta corrente	Poupança do setor externo	

Fonte: Elaboração própria baseada em Fontana *et al.* (2005)

Conforme mencionado anteriormente, os fatores primários são trabalho e capital. As receitas do trabalho são a soma das remunerações, que são os salários mais as contribuições deles decorrentes, e o pagamento do ROW pelo trabalho doméstico. Os pagamentos do trabalho se compõem da remuneração dos empregados recebidos pelas famílias e da remuneração dos empregados recebido pelo ROW.

Na conta do capital, a receita é composta pelo excedente operacional bruto somado às rendas das propriedades pagas pelo ROW. As despesas dessa conta são o excedente operacional bruto e as rendas das propriedades das famílias, das IFSFL - Instituições financeiras sem fins lucrativos, das empresas financeiras, das empresas não financeiras, da administração pública e das propriedades recebidos pelo ROW

Os agentes econômicos representados na SAM são as famílias, as empresas, e o governo. O agente econômico “famílias” é composto não somente pelas contas do setor institucional “famílias”, como também engloba, por hipótese, as contas das IFSFL.

As receitas das famílias contemplam a remuneração dos empregados recebida pelas famílias, o excedente operacional bruto, as rendas das propriedades das famílias e das

IFSFL, as transferências das empresas para as famílias, as transferências do governo para as famílias e as transferências correntes pagas pelo ROW. As despesas das famílias são constituídas pelo consumo final das famílias e das IFSFL, somado às rendas das propriedades pagas pelas famílias e pelas IFSFL, e à poupança bruta das famílias e das IFSFL.

O agente econômico “empresas” engloba as empresas financeiras, as empresas não financeiras e, por hipótese, parte da administração pública relacionada às atividades de empresas estatais. As receitas desse agente são compostas pelo excedente operacional bruto e rendas das propriedades das empresas financeiras, não financeiras e administração pública, somadas às transferências do governo para as empresas. Os pagamentos das empresas são constituídos pelas rendas das propriedades pagas pelas empresas financeiras, não financeiras e administração pública, pelas transferências das empresas para as famílias, como, por exemplo, indenização de seguros, pelos tributos pagos pelas empresas, como, por exemplo, o imposto de renda de pessoa jurídica, pelas transferências das empresas para o ROW e pela poupança bruta das empresas.

O agente governo, por hipótese aqui adotada, apenas recebe impostos e os transfere. As receitas do governo são constituídas pelo IRPJ- imposto de renda de pessoa jurídica, IRPF- imposto de renda de pessoa física, contribuições sociais, impostos sobre bens e serviços, impostos sobre a produção, subsídios para a produção e transferências das famílias para o governo. Os pagamentos do governo são a soma do consumo da administração pública com a transferência do governo para as famílias, as transferências do governo para empresas, as transferências do governo para o ROW, como cooperação internacional e outras transferências, e a poupança bruta da administração pública. Em diversos anos a poupança pública da administração se apresenta negativa, indicando que o governo tomou empréstimos.

O agente resto do mundo, aqui designado como ROW- *Rest of World*, representa as contas do Brasil com o exterior, como se este fosse um único agente. As receitas do ROW são compostas pela importação de bens e serviços, pela remuneração de empregados recebido pelo ROW, pela renda de propriedades recebida pelo ROW, pelas transferências de empresas para o ROW e pelas transferências do governo para o ROW, à guisa de cooperação internacional. Os pagamentos do ROW correspondem às exportação de bens e serviços, ao pagamento do ROW por trabalho doméstico, às rendas de propriedades pagas pelo ROW, às outras transferências correntes pagas pelo ROW e ao saldo externo corrente

do ROW. Todas as operações do setor institucional ROW constam na CEI, sendo algumas delas também apresentadas na TRU.

O último setor abordado na SAM é a conta de capital agregada. A receita do capital agregado é a poupança bruta das famílias e das IFSFL, somada à poupança bruta das empresas financeiras e empresas não financeiras, à poupança bruta da administração pública, e ao saldo externo corrente com o ROW. Os pagamentos do capital agregado são compostos pela FBCF- Formação bruta de capital fixo mais a variação de estoques.

Na SAM é possível calcular o PIB – Produto Interno Bruto, pelas óticas da demanda, do produto e da renda. O PIB calculado pela ótica da demanda é a soma do consumo das famílias com o consumo do governo, os investimentos e as exportações, subtraindo a importação de bens e serviços. O PIB calculado pela ótica da renda é a soma das remunerações com o excedente operacional bruto, impostos sobre o faturamento e valor adicionado, e impostos sobre vendas e importações. O PIB calculado pela ótica do produto é a soma das vendas domésticas com as exportações de bens e serviços, e os impostos sobre vendas e importações, subtraindo o consumo intermediário.

É necessário trabalhar com a SAM balanceada, o que significa que as receitas de cada setor devem igualar as suas despesas. O cálculo do PIB, pelas diversas óticas, na SAM, pode ser usado como uma verificação.

A Tabela 5.3 apresenta uma das SAM's elaboradas neste trabalho, a SAM do Brasil de 2013, onde se considerou uma variável de ajuste no setor doméstico para o balanceamento da SAM, conforme procedimento adotado por Fontana *et al.* (2005).

Para este trabalho construiu-se uma série histórica das SAM's do Brasil para os anos de 2000 a 2013, utilizando uma agregação de 9 setores econômicos, conforme pode ser visto no Anexo E. No Anexo F são descritas as células da SAM com suas origem nos dados da CEI e da TRU.

Essa série de SAMs é utilizada para a obtenção de uma SAM média, que dará origem aos valores iniciais empregados nos cenários contra fatuais (choques) do modelo de equilíbrio geral, conforme detalhado a seguir.

Tabela 5.3: SAM do Brasil de 2013, em milhões de R\$ correntes

De	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		8470357						620077	
P	4551838				3276050		1007780		1155332
L	2307327							1284	
K	2171851							21933	
HH			2308433	1250297	-	18588	366265	12726	
ENT				856224	-	-	41366		
GOV	59418	777859			310361	249407	-		
ROW		742784	178	87263		3678	1850		
CAP					369898	625917	-20216	179733	

Fonte: Elaboração própria

A partir dessa série de SAMs de valores monetários, obtém-se outra série com participações percentuais no PIB, ou seja, considerando o percentual de cada valor monetário da SAM no PIB daquele ano.

Dessa segunda série é obtida, então, uma SAM percentual média da série, apresentada na Tabela 5.4. Através de projeções do PIB nos cenários econômicos escolhidos, BAU – *Business As Usual* e Alt – Alternativo, aplicadas a essa SAM média, obtêm-se as SAMs projetadas correspondentes.

Tabela 5.4: Matriz de Contabilidade Social média em percentual do PIB.

SAM Média	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		159,82%						12,96%	
P	87,14%				60,72%		19,55%		19,17%
L	41,69%							0,03%	
K	42,81%							0,58%	
HH			41,71%	23,16%		0,28%	7,73%	0,34%	
ENT				17,22%			Var. Ajuste		
GOV	1,15%	14,35%			6,80%	5,32%			
ROW		12,40%	0,01%	3,01%		0,06%	0,02%		
CAP					5,69%	13,28%	-1,39%	1,59%	

Fonte: Elaboração própria

Assim, para cada SAM projetada, os componentes do PIB podem ser utilizados como valores iniciais tendenciais macroeconomicamente consistentes para cada

experimento contra factual do modelo de equilíbrio geral. Tanto os componentes do PIB sob a ótica da renda, que são os valores de trabalho, capital e impostos, como também os componentes do PIB sob a ótica da demanda que são valores de consumo das famílias, governo, investimentos, exportação e importação podem ser usados nos valores iniciais.

Ressalte-se que a consistência macroeconômica dos resultados de equilíbrio obtidos em cada experimento contrafactual é garantida pela construção do modelo, que espelha os fluxos econômicos da TRU, e também pela restrição adicional à renda do consumidor representativo introduzida no modelo⁴⁶, que impõe a implementação do valor projetado do PIB sob a ótica da renda ajustando a remuneração do capital aos valores inicialmente fixados das quantidades de trabalho e capital, tendo em vista que, como numerário, a remuneração do trabalho é fixada em valor unitário.

Observe que, a partir desses valores iniciais, sendo a metodologia de complementaridade a resolução de um problema de otimização, os valores de níveis de operação das atividades artificiais que representam a demanda final e seus respectivos preços serão ajustados para soluções ótimas, acomodando, inclusive, eventuais alterações contrafactualis em impostos ou nos coeficientes tecnológicos das atividades de produção.

5.6 – Síntese

A utilização de uma base de dados confiável é necessária para detectar tendências, analisar indicadores, projetar demandas e também confere maior precisão e confiabilidade em modelos em geral. Foram elaboradas, nesta tese, compatibilizações de bases de dados do MME e do SCN que permitiram criar uma única base de dados para análise de aspectos energéticos. Desenvolveu-se aqui uma base de dados que, seguindo a classificação adotada pelo projeto Eficind, contém importantes variáveis para a realização de projeções da demanda energética do setor industrial no Brasil de uma forma desagregada.

A compatibilização das principais classificações econômico-energéticas utilizadas no país possibilita a atualização da base de dados única estabelecida na tese, incluindo dados econômicos e energéticos a serem divulgados futuramente pelo IBGE e MME. Tal

⁴⁶ Mencionada na formulação do modelo no anexo I

base de dados permite diversos outros tipos de análises econômico-energéticas em trabalhos futuros.

A elaboração da série de SAMs do Brasil permite trabalhar com dados confiáveis e com consistência macroeconômica, pois existe um fechamento das contas de todos os setores brasileiros, e também das contas do Brasil com o resto do mundo (ROW). As projeções das SAMs são realizadas através de uma matriz de participação dos componentes dos SAM's no PIB. Isto assegura que as variáveis que compõem a SAM variem de forma consistente com o PIB.

O modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES), apresentado no capítulo 4, necessita de uma base de dados econômica e energética consistente e confiável para ser utilizado em simulações. Os choques realizados no módulo de equilíbrio geral, que implementam os cenários assumidos, são baseados nas matrizes de contabilidade social projetadas. Os resultados da utilização desta base de dados no modelo MEG-DES são apresentados no capítulo 6.

6 Cenários e Resultados

O modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) proposto neste trabalho permite aproveitar as vantagens das abordagens de equilíbrio geral e desagregação estrutural, tentando suprimir suas deficiências. Este modelo permite analisar a inter-relação dos setores econômicos e simular como estas variariam se determinados cenários político-econômicos ocorressem. O modelo possui um enfoque energético através de uma desagregação de uma base de dados consistente e confiável para esta finalidade.

O modelo MEG-DES é aplicado neste capítulo para diversos cenários de desenvolvimento no país e fornece projeções da demanda de energia para o setor industrial desagregado em segmentos energo-intensivos, além das variações de preços e quantidades dos produtos de todos os setores econômicos. Os resultados da modelagem são exemplificados para a indústria química.

Este capítulo está dividido em quatro partes. A primeira delas apresenta os cenários de desenvolvimento futuro escolhidos para realizar as simulações. A segunda seção mostra os resultados do módulo MEG de interesse para as projeções de demanda de energia. Na seção seguinte são analisados os parâmetros do módulo DES, dos quais alguns são provenientes do módulo MEG e outros são originados de regressões do próprio módulo DES. A seção seguinte traz os resultados finais do módulo DES, apresentando o consumo energético projetado. Na última seção é realizada uma validação do modelo MEG-DES, comparando seus resultados com as projeções de consumo energético obtidas com a utilização só do modelo DES.

6.1 – Cenários

Consideraram-se, para este trabalho, combinações de cenários econômicos e energéticos, cada um deles podendo ser tendencial (*Business As Usual* – BAU), ou alternativo (Alt), em um total de quatro cenários. A primeira letra de cada sigla

corresponde ao cenário econômico, a segunda letra corresponde ao cenário energético. Os quatro cenários analisados são:

- BB – BAU econômico e BAU energético;
- BA – BAU econômico e Alt energético;
- AB – Alt econômico e BAU energético; e
- AA – Alt econômico e Alt energético.

A Tabela 6.1 apresenta uma descrição dos cenários econômicos adotados, contemplando as hipóteses assumidas e seus impactos no choque produzido no módulo MEG, com o uso da SAM média.

Tabela 6.1: Caracterização dos cenários econômicos.

Cenário BAU econômico	Cenário Alt econômico
Hipóteses adotadas	Hipóteses adotadas
Crescimento médio do PIB: 1,6% de 2018 a 2020 2% de 2021 a 2030	Crescimento médio do PIB: 1,4% de 2018 a 2020 3% de 2021 a 2030
Alíquotas dos impostos de consumo e importação terão tendência de alta, em relação ao ano base.	Alíquotas dos impostos de consumo e importação, se mantêm as mesmas do ano base de 2009.
Impactos resultantes do módulo MEG:	Impactos resultantes do módulo MEG:
A participação dos impostos no PIB aumentam de: 14,7% em 2016 para: 15,69% em 2030 (BB) e 15,68% em 2030 (BA)	A participação dos impostos no PIB se reduz de 14,7% em 2016 para: 14,03% em 2030 (AB) e 13,92% em 2030 (AA)
Isto é, a participação do PIBpb no PIB diminui.	Isto é, a participação do PIBpb no PIB aumenta.
Participação da indústria no PIBpb diminui.	Participação da indústria no PIBpb aumenta.
Logo, a participação da indústria no PIB diminui.	Logo, a participação da indústria no PIB aumenta.
Participação da indústria de transformação na indústria aumenta.	Participação da indústria de transformação na indústria aumenta.
Participação da indústria química na indústria de transformação diminui.	Participação da indústria química na indústria de transformação diminui.

Fonte: Elaboração própria

Nos cenários econômicos, as projeções para o crescimento real do Produto Interno Bruto - PIB do Brasil do cenário BAU são baseadas no *World Economic Outlook* - WEO de abril de 2017 e no Fundo Monetário Internacional - FMI (FMI/WEO, 2017a; FMI/WEO, 2017b), com projeções do crescimento do PIB de 2% de 2021 a 2030, como apresentado na seção 2.3.4. Já o cenário alternativo de crescimento econômico (Alt)

considera o crescimento do PIB de 3% de 2021 a 2030, seguindo o “Cenário Nacional de Referência” adotado pelo PDE 2026, apresentado na seção 2.3.1.

O modelo MEG-DES permite simular diferentes hipóteses sobre diversas variáveis econômicas, tais como importações e exportações, investimentos, poupança do governo⁴⁷ dentre outras. Para ilustrar esta versatilidade do modelo se assume por hipótese que no cenário Alt econômico haverá uma ruptura de tendência histórica recente, com a redução da participação dos impostos sobre produtos no PIB. No cenário BAU econômico a hipótese é de que estes impostos continuem apresentando o comportamento tendencial de sua série histórica. No módulo MEG, no cenário BAU econômico se considera que as alíquotas dos impostos de consumo e importação apresentarão tendência de alta⁴⁸, em relação ao ano base. No cenário Alt econômico supõe-se que estas alíquotas se manterão as mesmas de 2009. Os impostos aqui abordados referem-se a impostos sobre produtos, tais como ICMS, IPI, PIS/CONFINS e imposto sobre a importação.⁴⁹

O choque no caso dos impostos pode ser interpretado, dado o resultado do MEG, da seguinte forma: os impostos apresentam o comportamento tendencial de sua série histórica, variando de 14,7% do PIB em 2016 para 15.69% e 15.68% do PIB em 2030, nos cenários BB e BA respectivamente. No cenário Alt econômico supõe-se a redução dos impostos sobre produtos, que variam de 14,7% em 2016 para 14,03% e 13.92% do PIB em 2030 nos cenários AB e AA, respectivamente.

Note-se que a aplicação de um mesmo choque de impostos nos cenários BB e BA, resulta em participações dos impostos no PIB diferentes nos dois cenários, dadas as diferenças nas hipóteses de evolução do consumo de energia nos dois cenários, e as relações intersetoriais delas oriundas. As mesmas considerações se aplicam nos cenários AB e AA.

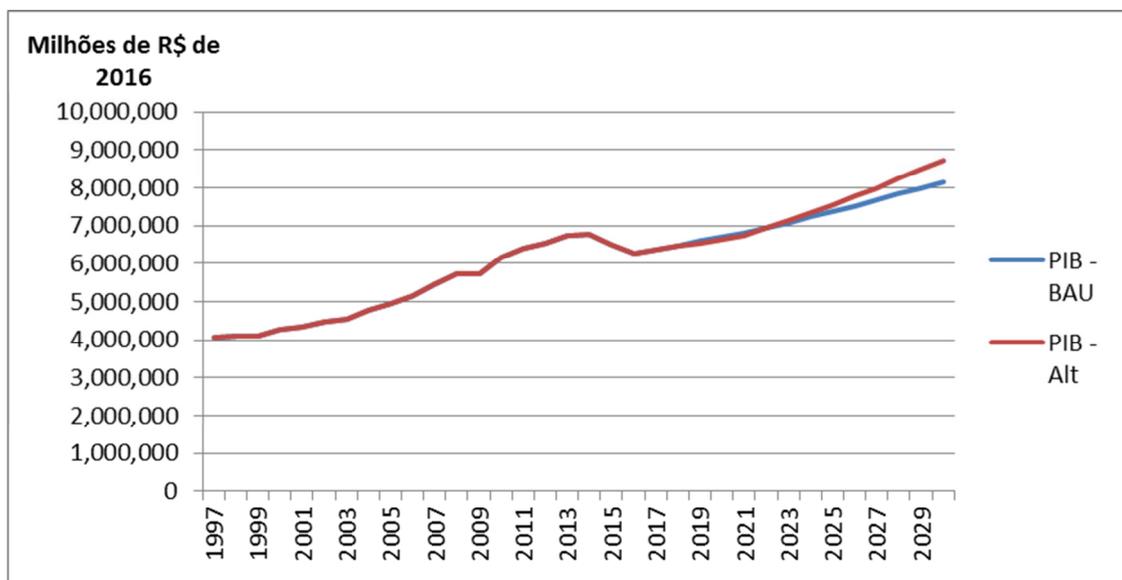
A Figura 6.1 apresenta a projeção do PIB nos cenários BAU e Alt de crescimento econômico. Observe-se que, em 2014, o PIB era de 6.755.152 milhões de R\$ de 2016. Logo após, o país entra em um período de recessão econômica com o PIB decrescendo nos anos de 2015 e 2016. Em 2017, nota-se um discreto retorno no crescimento do PIB. No entanto, projeta-se que apenas em 2020 o PIB superará o patamar de 2014, anterior à crise

⁴⁷ O déficit do governo adotado neste modelo é originado da SAM média, e se situa em torno de -1,39% do PIB, como apresentado na tabela 5.4.

⁴⁸ No choque de impostos no Cenário BAU considera-se que a alíquota dos impostos irá variar 23,5% em 2030, em relação ao ano base de 2009.

⁴⁹ Conforme a metodologia do IBGE os impostos e subsídios sobre a produção não são considerados neste quociente, pois estão inclusos no valor adicionado setorial.

econômica. Em 2030, no cenário BAU, projeta-se que o PIB será de 8.155.296 milhões de R\$ de 2016, enquanto no cenário Alt projeta-se que este valor será de 8.740.334 milhões de R\$ de 2016, ou seja, cerca de 7% superior ao PIB do cenário BAU.



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.1: Valores históricos do PIB do Brasil, em milhões de R\$ de 2016, a partir de 1997 e projeções até 2030 nos cenários BAU e Alt.

Como o Brasil tem se encontrado em um período de instabilidade econômica, as principais instituições que projetam o crescimento da economia têm recalculado os valores de crescimento do PIB com grande frequência. É temeroso assumir um determinado cenário de crescimento para o PIB no curto prazo. Como o modelo aqui desenvolvido procura apontar tendências de longo prazo, as oscilações do PIB no curto prazo não são tão relevantes. Mais importante que tais oscilações é o crescimento médio do PIB assumido para o horizonte das projeções.

No cenário energético BAU considera-se que o consumo energético específico diminuirá no horizonte da projeção, tendendo ao valor mínimo já apresentado em sua série histórica no final do período, o que é tecnicamente viável com a tecnologia já disponível no setor. Esta hipótese considera que para uma indústria se manter competitiva no mercado deverá tentar reduzir os custos dos seus insumos, em particular da energia, e isso implica em adotar boas práticas no consumo de energia, reduzindo seu consumo específico.

O cenário energético alternativo – Alt é considerado um cenário de conservação de energia, no qual se supõe a adoção de acordos voluntários de associações representativas dos setores industriais com o governo, de forma a reduzir em 10% os consumos energéticos específicos total e elétrico. Esta redução de 10% se dá em relação à média do consumo específico dos últimos cinco anos da série histórica.

O cenário alternativo energético, no qual se considera uma redução no consumo específico de energia, é representado tanto no módulo MEG quanto no módulo DES. O módulo MEG, representa o cenário alternativo energético aplicando um fator de correção nos coeficientes técnicos, simulando a redução proposta. No módulo DES, esta redução é feita diretamente nos consumos energéticos específicos total e elétrico.

6.2 – Resultados do módulo MEG

Os resultados dos choques realizados no módulo MEG para os anos de 2016, 2021, 2026 e 2030 estão indicados na Tabela 6.2.

De acordo com os cenários apresentados, tendo por base o ano de 2009⁵⁰, foram realizados choques para os anos de 2016, 2021 e 2026 nos componentes da demanda final do módulo MEG, encontrando-se os níveis de atividades dos setores e de preços dos bens que caracterizam o equilíbrio econômico. Ressalte-se que, embora o PIB para 2016 já seja conhecido e o de 2026 é uma hipótese do cenário, os valores econômicos decorrentes são projeções consistentes dos equilíbrios econômicos encontrados.

Os valores iniciais dos componentes da demanda final⁵¹ foram projetados aplicando a SAM média, apresentada na seção 5.5, nas projeções do PIB para cada um dos cenários de crescimento econômico BAU e Alt. A partir do valor inicial colocado para os choques nos anos a serem analisados, o MEG recalcula cada uma das componentes da demanda final, de onde se obtém os resultados apresentados na Tabela 6.2

⁵⁰ Última TRU de 43 setores disponibilizada pelo IBGE.

⁵¹ Uma tabela semelhante a tabela 6.2, obtida através da SAM média, foi utilizada como ponto inicial para a obtenção do novo equilíbrio.

Tabela 6.2: Resultados dos choques nas variáveis do módulo MEG nos cenários econômicos BAU e Alt

Variável	2009	BAU - Cenário econômico					Variação ao ano	ALT - Cenário econômico				
		2016	2021	2026	2030	2016		2021	2026	2030	Variação ao ano	
PIBr	1	1.094	1.188	1.314	1.424	1.70%	1.094	1.175	1.356	1.526	2.03%	
LAB	1	1.031	1.122	1.246	1.35	1.44%	1.031	1.102	1.271	1.431	1.72%	
CAP	1	1.136	1.216	1.324	1.435	1.73%	1.136	1.245	1.437	1.620	2.32%	
TXY	1	1.091	1.181	1.302	1.411	1.65%	1.091	1.192	1.374	1.546	2.10%	
TXP	1	1.171	1.313	1.501	1.626	2.34%	1.171	1.196	1.377	1.544	2.09%	
TXM	1	1.18	1.325	1.51	1.637	2.37%	1.18	1.274	1.456	1.616	2.31%	
PIBd	1	1.094	1.188	1.314	1.424	1.70%	1.094	1.174	1.354	1.522	2.02%	
GOV	1	1.042	1.126	1.239	1.343	1.41%	1.042	1.128	1.3	1.462	1.83%	
HHD	1	1.071	1.166	1.294	1.402	1.62%	1.071	1.149	1.326	1.494	1.93%	
INV	1	1.26	1.364	1.501	1.627	2.34%	1.26	1.349	1.553	1.744	2.68%	
STK	1	1.199	1.31	1.473	1.596	2.25%	1.199	1.536	2.251	3.133	5.59%	
EXP	1	1.006	1.081	1.182	1.281	1.19%	1.006	1.149	1.318	1.472	1.86%	
IMP	1	1.05	1.129	1.234	1.338	1.40%	1.05	1.196	1.372	1.533	2.06%	
PIBp	1	1.094	1.188	1.314	1.424	1.70%	1.094	1.175	1.356	1.526	2.03%	
PT	1	1.054	1.139	1.254	1.359	1.47%	1.054	1.149	1.326	1.494	1.93%	
CI	1	1.025	1.108	1.222	1.325	1.35%	1.025	1.126	1.299	1.464	1.83%	

Fonte: Elaboração própria

Exemplificando, tem-se que, no cenário BAU, o PIB apresentará um crescimento de 42,4% em 2030, em relação ao PIB de 2009. Esta variação do PIB ocasionará crescimentos, até 2030, de 35% na quantidade de trabalho e de 43,5% na quantidade de capital, ambos em relação a 2009. Isso equivale a um crescimento médio anual, entre os anos de 2009 e 2030, de 1,7% no PIB, 1,44% no valor do trabalho⁵² e 1,73% no valor do capital.

Os resultados do modelo de equilíbrio geral são apresentados no Anexo G, no qual constam as variações dos valores agregados conforme a desagregação da TRU43. Apenas parte dos resultados do módulo MEG é utilizada como entrada no módulo DES.

Nos cenários de crescimento econômico tendencial, BB e BA, o crescimento do setor comercial mostra-se superior ao crescimento do PIB, enquanto o setor agropecuário apresenta um crescimento abaixo do crescimento do PIB.

Já nos cenários de crescimento econômico alternativo, AA e AB, além de um crescimento mais acentuado do PIB, considera-se a hipótese de elaboração dos cenários um crescimento maior do PIBpb, ou seja, uma redução nos impostos. Logo, nestes cenários, há

⁵² No cenário Alt, o crescimento projetado pelo MEG da quantidade de trabalho de 1,72% a.a. de 2009 a 2030, está consistente com o histórico de crescimento das ocupações que foi de 2,09% a.a. de 2003 a 2014, e com a projeção do crescimento da população até 2030 de 0,7% a.a. realizada pelo IBGE.

uma redução do setor público. Nota-se que a redução dos impostos estimula um crescimento mais acentuado do setor industrial.

No cenário tendencial BB, que se trata de um cenário com crescimento modesto do PIB, os setores que apresentaram maior crescimento do valor agregado foi 36- Comunicações, 33-Construção civil, 34- Comercial. Os cenários que apresentaram menor crescimento do valor agregado foram 6- Metal não ferroso, 23- Fabricação de calçados, 26- Abate de animais.

Os setores que compõem a indústria química, na desagregação da TRU, 16- Elementos químicos, 17- Refino do petróleo, 18- Químicos diversos, 19- Farmácia e perfumaria, apresentam comportamentos semelhantes em cada um dos cenários. No cenário BB, tais setores apresentam um modesto crescimento do valor agregado. No cenário alternativo de crescimento econômico, o crescimento dos setores da indústria química é mais acentuado por se tratar de um segmento que fornece insumos intermediários em outras cadeias produtivas. Um aspecto interessante de se notar, é que quando simula-se um cenário alternativo de energia, cenário BA ou AA, os setores da indústria química apresentam um aumento do valor agregado, em relação ao cenário tendencial (BB e AB, respectivamente)

6.3 – Análise dos parâmetros do módulo DES

Apresentam-se nesta seção análises retrospectivas e prospectivas de todos os parâmetros da equação (4.1)⁵³, que foi utilizada nas projeções das demandas energéticas setoriais, no módulo DES

O consumo específico e o valor adicionado específico, que são o numerador e o denominador no parêntese da equação (4.1), juntamente com a participação do subsetor i no valor agregado do setor j, ou seja, o segundo termo desta multiplicação, são aqui denominados parâmetros específicos de um subsetor. Estes parâmetros são determinados

$$^{53} CE_{i,j} = \left(\frac{CE_{i,j}}{\frac{PF_{i,j}}{VA_{i,j}}} \right) \cdot \frac{VA_{i,j}}{VA_j} \cdot \frac{VA_j}{VA_{ind.trans.}} \cdot \frac{VA_{ind.trans.}}{VA_{ind.}} \cdot \frac{VA_{ind.}}{PIB_{pb}} \cdot \frac{PIB_{pb}}{PIB} \cdot PIB$$

através de regressões⁵⁴ em suas séries históricas e refletem principalmente características tecnológicas e energéticas dos subsectores industriais.

Os valores utilizados no terceiro, quarto e quinto termos da equação (4.1) são oriundos do MEG. Os valores do PIB e da participação do PIBpb no PIB são definidos nos cenários. Tais parâmetros são aqui denominados parâmetros gerais, pois são comuns em um setor industrial, para todos os seus subsectores. Os dados originados do módulo MEG foram anualizados para utilização no módulo DES, através de interpolações.

6.3.1 – Análises dos parâmetros gerais.

Os parâmetros gerais, que se aplicam a todos os ramos da indústria de transformação, são o PIB, a participação do PIB a preços básicos (PIBpb) no PIB, a participação da indústria no PIBpb e a participação da indústria de transformação na indústria.

O PIB é definido no cenário econômico adotado, conforme apresentado na seção 6.1. Todos os demais parâmetros gerais correspondem a variações em relação à variação do PIB e são obtidos a partir de resultados do módulo MEG.

A projeção da participação do PIB a preços básicos no PIB, descrita na Tabela 6.3, é decrescente nos cenários econômicos tendenciais BB e BA e crescente nos cenários econômicos alternativos AB e AA.

Na participação do PIBpb no PIB, assumiu-se, nos cenários econômicos alternativos, um leve decréscimo na participação dos impostos sobre produtos no PIB. Nos cenários de crescimento econômico tendencial, assume-se que a carga tributária continue crescente, variando de 14,70% do PIB em 2016 para 15,69% e 15,68% do PIB em 2030 nos cenários BB e BA, respectivamente. Nos cenários de crescimento econômico alternativo, assume-se que haverá uma redução da carga tributária, que atingirá 14,03%, e 13,92% do PIB em 2030, nos cenários AB e AA, respectivamente.

⁵⁴ Em geral, as projeções dos parâmetros específicos foram obtidas por regressões logarítmicas no tempo, que suavizam as oscilações detectadas no período histórico. Quando necessário, foram acrescentadas hipóteses que representam possíveis rupturas na evolução destes parâmetros.

Tabela 6.3: Projeções dos parâmetros econômicos e energéticos da indústria química e seus subsetores em todos os cenários.

Parâmetros	Unidade	2016	2030			
			BAU econômico		Alt econômico	
			BAU energético	Alt energético	BAU energético	Alt energético
PIB	milhões de R\$ de 2016	6,266,856	8,155,296	8,155,296	8,740,334	8,740,334
PIBpb / PIB	%	85.30%	84.31%	84.32%	85.97%	86.08%
VAind. / PIBpb	%	26.07%	25.62%	25.86%	27.76%	27.89%
VAind.trans. / VAind.	%	59.75%	59.79%	60.14%	61.49%	61.79%
VAind.quím. / VAind.trans.	%	9.47%	8.72%	8.81%	8.29%	8.43%
VAcloro / VAind.quím.	%	2.62%	2.59%	2.59%	2.59%	2.59%
CEcloro / PFcloro	GJ / t	21.782	15.404	14.456	15.404	14.456
CEEcloro / PFcloro	GJ / t	13.104	10.457	10.029	10.457	10.029
VAcloro / PFcloro	Mil R\$ 2016 / t	2.201	1.365	1.365	1.365	1.365
VApetr.bás. / VAind.quím.	%	3.06%	3.01%	3.01%	3.01%	3.01%
CEpetr.bás. / PFpetr.bás.	GJ / t	19.892	15.558	14.386	15.558	14.386
CEEpetr.bás. / PFpetr.bás.	GJ / t	0.772	0.598	0.581	0.598	0.581
VApetr.bás. / PFpetr.bás.	Mil R\$ 2016 / t	0.461	0.298	0.298	0.298	0.298
VAres.term. / VAind.quím.	%	1.71%	1.69%	1.69%	1.69%	1.69%
CEres.term. / PFres.term.	GJ / t	5.115	4.101	3.999	4.101	3.999
CEEres.term. / PFres.term.	GJ / t	1.666	1.349	1.263	1.349	318
VAres.term. / PFres.term.	Mil R\$ 2016/ t	0.318	0.204	0.204	0.204	0.204
VAfertil. / VAind.quím.	%	6.04%	6.03%	6.03%	6.03%	6.03%
CEfertil. / PFfertil.	GJ / t	4.344	3.041	2.799	3.041	2.799
CEEfertil. / PFfertil.	GJ / t	0.282	0.192	0.180	0.192	0.180
VAfertil. / PFfertil.	Mil R\$ 2016 / t	0.553	0.343	0.343	0.343	0.343
VAoutrosquím. / VAind.quím.	%	86.57%	86.69%	86.69%	86.69%	86.69%
CEoutrosquím. / VAoutrosquím.	GJ / Mil R\$ 2016	1.445	1.525	1.408	1.525	1.408
CEEoutrosquím. / VAoutrosquím.	GJ / Mil R\$ 2016	0.788	0.813	0.742	0.813	0.742

Fonte: Elaboração própria

A participação do valor adicionado da indústria no PIB a preços básicos, descrita na tabela 6.3, apresenta-se decrescente nos cenários tendenciais, variando de 26,07% em 2016 para 25,62% em 2030 no cenário BB, e para 25,86% em 2030 no cenário BA. Nos cenários de crescimento econômico alternativo, que considera um crescimento econômico mais acentuado, nota-se um aumento da participação da indústria no PIBpb, que atinge 27,76% no cenário AB e 27,89% no cenário AA, ambos em 2030. Observe que estes valores são resultados diretos das simulações do MEG.

A participação do VA da indústria de transformação no VA da indústria apresenta-se levemente crescente nos cenários de manutenção das tendências da economia, variando de 59.75% em 2016 para 59.79% no cenário BB, e 60,14% no cenário BA, ambos para o ano de 2030. Nos cenários alternativos de crescimento econômico, esta participação apresenta um crescimento mais acentuado, alcançando 61,49%, e 61,79% nos cenários AB e AA respectivamente, em 2030.

6.3.2 – Análises dos parâmetros específicos.

Nesta seção são analisados os parâmetros específicos econômicos e técnicos dos cinco segmentos da indústria química: cloro e álcalis, petroquímicos básicos, resinas termoplásticas, fertilizantes, e outros segmentos da indústria química, também apresentados na tabela 6.3. Os parâmetros específicos econômicos, que se referem à participação do VA da indústria química no VA da indústria de transformação e dos VAs dos segmentos da indústria química no VA da indústria química como um todo, são calculados a partir dos resultados do módulo MEG.

A participação do VA da indústria química no VA da indústria de transformação apresenta-se decrescente em todos os cenários analisados⁵⁵, variando de 9,47% em 2016 para 8,72%, e 8,81% em 2030 nos cenários BB e BA respectivamente. O decréscimo da participação da indústria química na indústria também foi apontado no PDE 2026, que também indicou que os setores que sustentariam o crescimento industrial seriam os setores de papel e celulose e de metais não ferrosos. Os resultados do módulo MEG revelaram que o setor de metais não ferrosos apresenta um crescimento acentuado de seu valor agregado só no cenário alternativo de crescimento econômico cujas hipóteses estão próximas das hipóteses do cenário de referência do PDE2026. No cenário tendencial deste trabalho, o setor de metais não ferrosos apresenta baixas taxas de crescimento do VA.

As participações dos VAs dos segmentos químicos no VA da indústria química (VAcloro/VAquim, VApetr.bas./VAquim, VAres.term./VAquim, VAfert./VAquim, VAoutrosquim./VAquim.) apresentam os mesmos valores para todos os cenários, pois foram projetadas como regressões no módulo DES. O único segmento que aumenta sua participação na indústria química em relação a 2016 é o de “outros produtos químicos”. Os demais segmentos apresentam suas participações levemente reduzidas. O segmento de outros produtos químicos é o mais representativo na indústria química, em termos econômicos, com uma participação de 86,6% no VA da indústria química.

Os consumos energéticos específicos e os valores adicionados específicos dos segmentos industriais homogêneos, assim como as intensidades energéticas dos segmentos industriais heterogêneos são projetados através de regressões do módulo de desagregação estrutural – DES.

⁵⁵ Este comportamento é resultante dos choques aplicados no módulo MEG

Sobre os consumos energéticos específicos total e de energia elétrica aplicam-se as hipóteses referentes aos cenários energéticos, também apresentados na Tabela 6.3. O consumo energético específico (total) e o consumo específico de energia elétrica, em geral, apresentam grandes oscilações em suas séries históricas. Assumiu-se, por hipótese, neste trabalho, que as projeções desses consumos específicos seriam decrescentes no horizonte das projeções, caracterizando um movimento da indústria de redução de custos de insumos, neste caso de insumos energéticos, em todos os cenários. Contudo, no cenário alternativo de energia, assumiu-se a adoção de medidas de conservação de energia, que resultariam em um decréscimo ainda mais acentuado desses consumos específicos. Seria uma redução de 10% em relação à média do consumo específico dos últimos 5 anos da série histórica. Em geral, essa medida acaba se assemelhando a adotar o consumo específico mínimo da série histórica, já alcançado pelo segmento, ou seja, ele utilizaria tecnologias já existentes.

O consumo energético específico do setor de cloro e álcalis, bem como os consumos elétricos específicos de resinas e também de fertilizantes, apresentaram comportamento decrescente em sua série histórica. Portanto, para estes indicadores foi necessário considerar uma política de conservação de energia diferenciada, na qual o consumo específico iria reduzir em 5 % em relação ao menor valor de sua série histórica, em 2030.

O valor adicionado específico é um parâmetro característico de cada segmento da indústria química, mas que tem grande relação com os preços de seus insumos e produtos. Em alguns casos este parâmetro apresenta um comportamento cíclico, e em quase todos os casos ele varia bastante. Neste trabalho, adotou-se a média histórica deste parâmetro nas projeções, para reduzir erros significativos que podem surgir no uso de regressões temporais nestas circunstâncias em projeções no longo prazo. Estudos econométricos do mercado de insumos e produtos destes segmentos, como o realizado por Silva e Bajay (2016) para a indústria do cimento, possibilitam a realização de projeções mais refinadas deste parâmetro.

Note que há indicadores que individualmente não apresentam grande variação nos diferentes cenários, como por exemplo a participação da indústria de transformação na indústria. Entretanto a combinação de todos estes indicadores utilizados no módulo DES causam variação significativa no consumo energético.

No segmento de outros produtos químicos trabalhou-se com a intensidade energética e a intensidade elétrica, em substituição ao consumo energético específico e

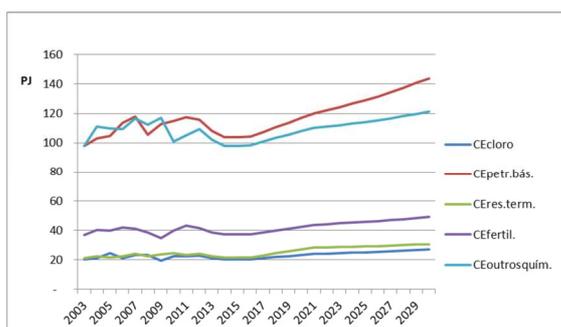
valor adicionado específico, por se tratar de um segmento bastante heterogêneo. Neste segmento, as projeções das intensidades energética e elétrica, baseadas nas tendências de suas séries históricas, mostram-se levemente decrescentes, em todos os cenários.

6.4 – Projeções do modelo integrado MEG-DES

Nesta seção são apresentadas as projeções do consumo energético total e do consumo de energia elétrica para todos os subsetores da indústria química nos diversos cenários adotados na tese. Por último, são apresentadas as projeções dos consumos energético e elétrico da indústria química como um todo.

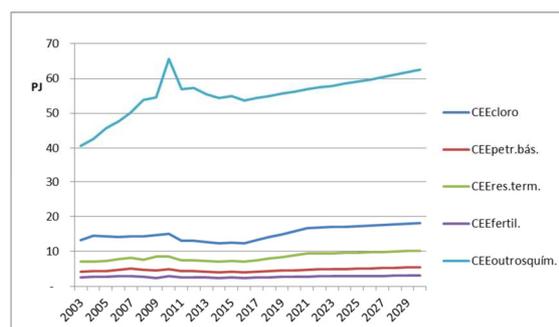
6.4.1 – Cenário BB

Todos os subsegmentos da indústria química apresentaram grandes quedas no seu consumo de energia entre 2014 e 2016 (Figura 6.5), refletindo a crise econômica atravessada pelo país. Espera-se que a partir de 2019 a indústria química já tenha retomado o consumo de energia para os mesmos patamares de antes da crise.



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.2: Consumo energético dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BB.



Fonte: Elaboração própria

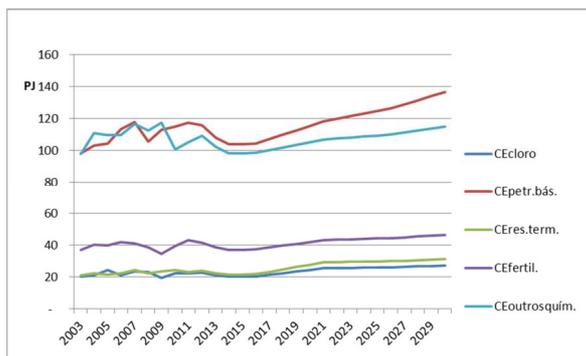
Figura 6.3: Consumo de energia elétrica dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário tendencial BB.

Os segmentos da indústria química de maior consumo de energia são os de petroquímicos básicos e de cloro e álcalis no cenário tendencial BB. Nas suas séries históricas, os consumos energéticos de ambos os segmentos revezam entre si a primeira posição ao longo do tempo, mas são da mesma ordem de grandeza. Nas projeções do consumo total de energia destes segmentos nota-se, na Figura 6.2, que o segmento de petroquímicos básicos desponta como o maior consumidor de energia da indústria química, apresentando valores um pouco superiores aos do subsegmento de cloro e álcalis.

A Figura 6.3 apresenta as projeções do consumo de energia elétrica dos subsegmentos da indústria química neste cenário. O consumo deste energético na indústria química é fortemente influenciado pelo consumo do subsegmento de outros produtos químicos. Em 2012 a indústria teve um pico no consumo de eletricidade. A partir daí, a indústria química e todos os seus subsegmentos apresentaram um decréscimo do consumo de eletricidade até 2016, devido, em grande parte, à crise econômica do país. Projeta-se, neste cenário, uma retomada do crescimento do consumo de energia elétrica em toda a indústria química.

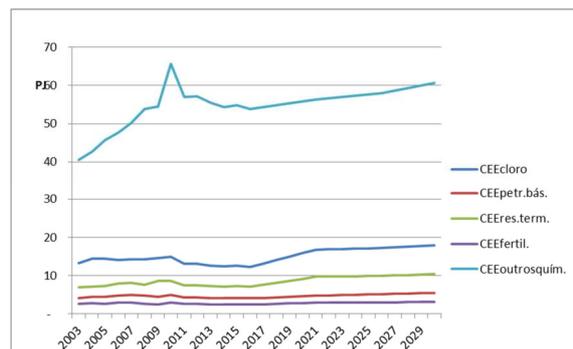
6.4.2 – Cenário BA

No cenário BA, conforme apresentado nas Figuras 6.4 e 6.5, as projeções do consumo total de energia e do consumo de energia elétrica dos subsetores da indústria química apresentam comportamentos semelhantes aos verificados no cenário tendencial, com a diferença de que, neste cenário, adotam-se medidas de conservação de energia e, portanto, as projeções neste cenário apresentam valores inferiores às do cenário tendencial BB. Dentre todos os cenários analisados neste trabalho, o cenário BA é o que apresenta menor taxa de crescimento dos consumos energético total e de energia elétrica para todos os subsetores da indústria química



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.4: Consumo energético dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário BA.



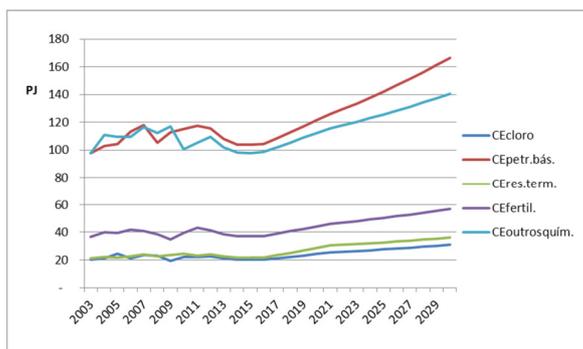
Fonte: Elaboração própria

Figura 6.5: Consumo de energia elétrica dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário BB.

6.4.3 – Cenário AB

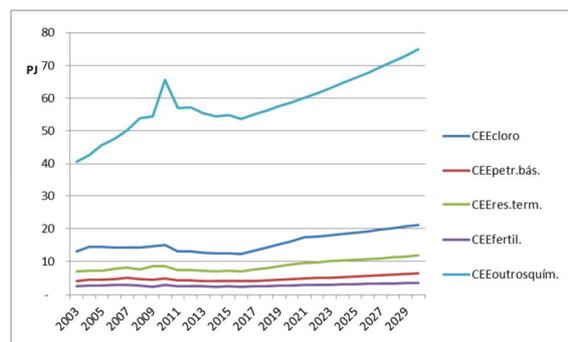
As Figuras 6.6 e 6.7 apresentam os consumos energéticos totais e os consumos de energia elétrica para os segmentos da indústria química no cenário alternativo de desenvolvimento econômico, mas sem medidas de conservação de energia, isto é, o cenário AB. Neste cenário, todos os segmentos apresentam um crescimento mais acentuado dos consumos de energia e também de eletricidade, quando comparados a qualquer outro cenário aqui analisado.

O cenário AB é o cenário com maior projeção do consumo de energia pois simula o crescimento econômico, mas sem medidas de conservação de energia. Do ponto de vista do planejamento energético, é o cenário que exigiria maiores investimentos para o fornecimento de energia



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.6: Consumo energético dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário AB.

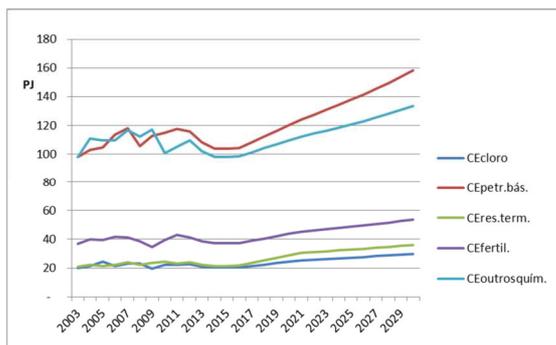


Fonte: Elaboração própria

Figura 6.7: Consumo de energia elétrica dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário AB.

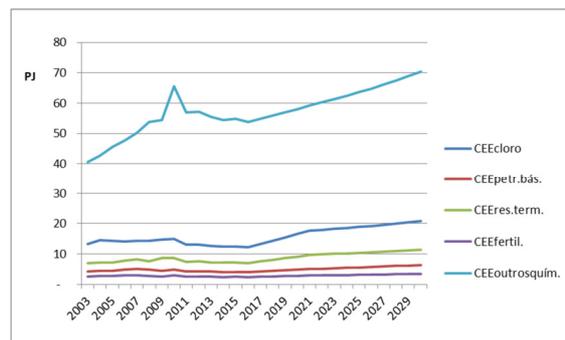
6.4.4 – Cenário AA

O cenário AA considera um maior crescimento econômico do que no cenário tendencial, acompanhado por medidas de conservação de energia. Conforme ilustrado nas Figuras 6.8 e 6.9, as projeções dos consumos energéticos totais e de energia elétrica dos subsegmentos da indústria química apresentam comportamento semelhante ao das projeções do cenário AB, mas, por representarem a inserção de medidas de conservação de energia, apresentam menores crescimentos de suas demandas energéticas totais e de energia elétrica.



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.8: Consumo energético dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário alternativo AA.



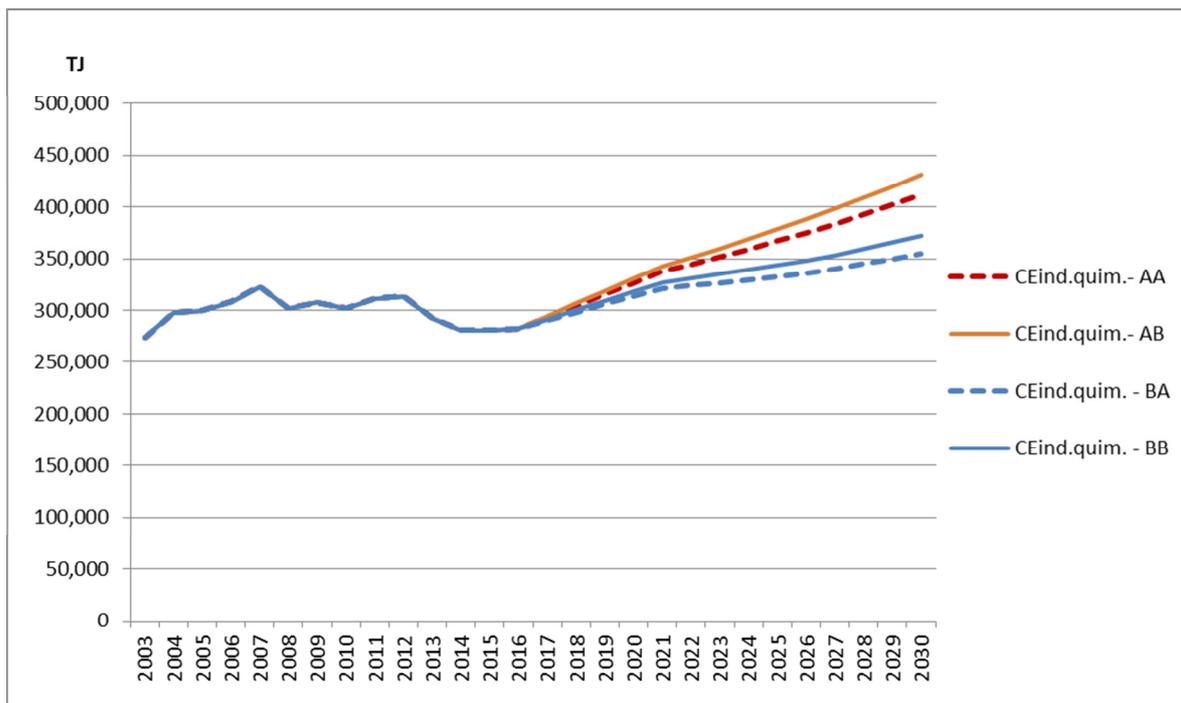
Fonte: Elaboração própria

Figura 6.9: Consumo de energia elétrica dos subsetores da indústria química em PJ, de 2003 a 2030, no cenário alternativo AA

6.4.5 – Projeções para a indústria química

Nesta seção apresentam-se as projeções para os consumos energéticos totais e de energia elétrica do setor químico como um todo, obtidas como uma somatória de todos os seus subsetores. As Figuras 6.10 e 6.11 ilustram estas projeções para o setor químico nos quatro cenários analisados neste trabalho.

Nota-se na série histórica do consumo energético do setor químico, apresentada na Figura 6.10, bem como nas séries correspondentes de todos os seus subsetores, uma considerável queda neste consumo nos anos entre 2013 e 2016. Não se julgou que estes consumos mais baixos estivessem refletindo uma mudança de comportamento do setor. Assumiu-se que o setor químico retornará aos padrões de consumo energético anteriores a este período de crise setorial a partir de 2019.

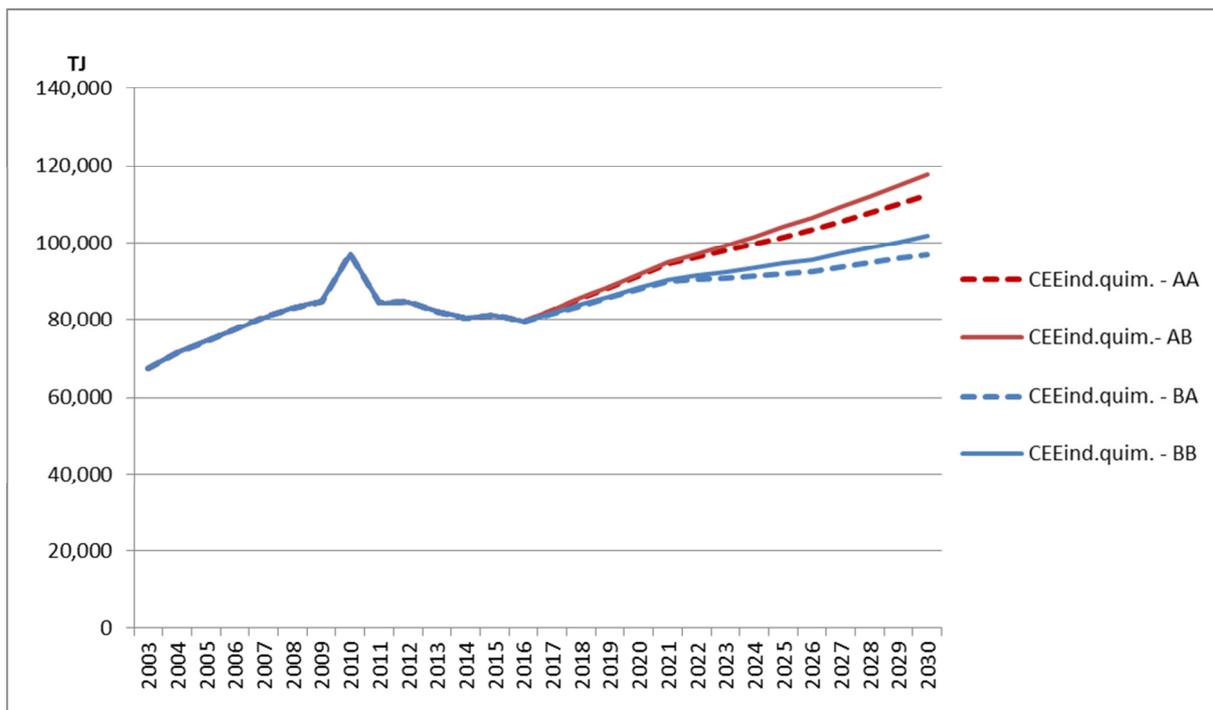


Fonte: Elaboração própria

Figura 6.10: Consumo energético da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, em todos os cenários adotados neste trabalho.

O setor químico apresentou um crescimento do consumo de energia de 2.00% a.a. no cenário tendencial BB, alcançando uma demanda de energia de 372.520 TJ (ou 10^{12} Joules) ao final de 2030. Ao se engajar no programa de conservação de energia formulado no cenário BA, há uma redução no crescimento do seu consumo de energia, que passa a ser 1,65% a.a. No cenário alternativo de crescimento econômico sem medidas de conservação de energia, ou seja, o cenário AB, tem-se um crescimento de 3.07% a.a. no consumo de energia setorial. Ao se aplicar o programa de conservação de energia supracitado neste cenário econômico alternativo, resultando o cenário AA, o crescimento do consumo de energia da indústria química reduz para 2,73% a.a..

A projeção do consumo de energia elétrica da indústria química, ilustrada na Figura 6.11, apresentou um crescimento médio de 1,78% a.a. no cenário tendencial BB, variando de 79.553 TJ em 2016 para 101.854 TJ em 2030. A adoção do programa de conservação de energia no cenário BA reduz este crescimento médio para 1,42% a.a. No cenário alternativo de crescimento econômico sem medidas de conservação de energia AB, o crescimento do consumo de eletricidade é de 2,85% a.a. O programa de conservação de energia do cenário AA reduz este crescimento médio para 2,50% a.a..



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.11: Consumo de energia elétrica da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, em todos os cenários adotados neste trabalho.

Analisando o cenário tendencial BB, entre todos os subsegmentos da indústria química, o subsegmento de resinas termoplásticas foi o que apresentou maior crescimento no consumo de energia no período analisado: 2,62% a.a. O subsegmento que apresentou menor variação do consumo energético foi o de outros produtos químicos, com crescimento médio de 1,50% a.a. Com relação ao consumo de eletricidade, o subsegmento que apresentou o maior crescimento foi o de cloro e álcalis com 2,86% a.a., e o setor de outros produtos químicos apresentou a menor variação no consumo de eletricidade com 1,34% a.a.

O modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural MEG-DES forneceu como resultados as projeções do consumo total de energia (CE) e de eletricidade (CEE) da indústria química e de seus subsegmentos, em todos os cenários adotados, conforme apresentado na Tabela 6.4. Nesta tabela consta, ainda, a variação percentual anual destes consumos em relação ao ano de 2016.

Tabela 6.4: Projeções do consumo energético e elétrico do setor químico e seus subsetores.

Consumo energético e elétrico (TJ)	2016	2030							
		BAU econômico				Alt econômico			
		BAU energético		Alt energético		BAU energético		Alt energético	
		TJ	Δ% a.a.						
CE ind.quim.	282,329	372,520	2.00%	355,016	1.65%	431,184	3.07%	411,656	2.73%
CEE ind.quim	79,553	101,854	1.78%	96,970	1.42%	117,894	2.85%	112,440	2.50%
CE cloro e álcalis	20,406	26,857	1.98%	25,869	1.71%	31,086	3.05%	29,996	2.79%
CEE cloro e álcalis	12,277	18,232	2.86%	17,947	2.75%	21,103	3.95%	20,810	3.84%
CE petroquímicos	104,328	143,943	2.33%	136,596	1.94%	166,611	3.40%	158,389	3.03%
CEE petroquímicos	4,047	5,535	2.26%	5,521	2.24%	6,407	3.34%	6,402	3.33%
CE resinas	21,680	31,160	2.62%	31,005	2.59%	36,067	3.70%	35,951	3.68%
CEE resinas	7,060	10,252	2.70%	9,844	2.40%	11,866	3.78%	11,415	3.49%
CE fertilizantes	37,355	49,122	1.98%	46,414	1.56%	56,858	3.05%	53,818	2.64%
CEE fertilizantes	2,423	3,101	1.78%	2,980	1.49%	3,589	2.85%	3,455	2.57%
CE outros	98,561	121,437	1.50%	115,133	1.12%	140,561	2.57%	133,501	2.19%
CEE outros	53,746	64,734	1.34%	60,678	0.87%	74,928	2.40%	70,359	1.94%

Fonte: Elaboração própria.

O subsetor de petroquímicos básicos é o mais energo-intensivo do setor químico, consumindo principalmente energia térmica, pois apresenta um consumo reduzido de eletricidade. Já o subsetor de outros produtos químicos destaca-se pelo elevado consumo de eletricidade. No cenário BB, o consumo energético dos petroquímicos básicos aumenta de 104.328 TJ em 2016, para 143.943 TJ em 2030, representando um crescimento médio de 2,33% a.a.. O consumo de energia elétrica dos petroquímicos básicos aumenta de 4.047 TJ em 2016, para 5.535 TJ em 2030, representando um crescimento médio de 2,26% a.a.. Análises semelhantes podem ser feitas para os demais cenários analisados, bem como para os demais subsetor da indústria química.

O subsetor de outros produtos químicos é o que mais consome energia elétrica no setor químico, apresentando também um alto consumo de energia térmica. Cerca de 67% de toda a eletricidade consumida na indústria química em 2016 foi consumida por este subsetor. O consumo total de energia dos “outros produtos químicos” aumentou de 98.561 TJ em 2016, para 121.437 TJ em 2030, representando um crescimento de 1,50%. O consumo de energia elétrica deste subsegmento aumentou de 53.746 TJ em 2016, para 64.734 TJ em 2030, representando um crescimento de 1,34% a.a..

No cenário tendencial de crescimento econômico, encontrou-se um potencial de conservação de energia de 17.503 TJ, dos quais 4.884 TJ se referem à conservação de eletricidade, quando adotado o programa proposto no cenário alternativo de energia. Os

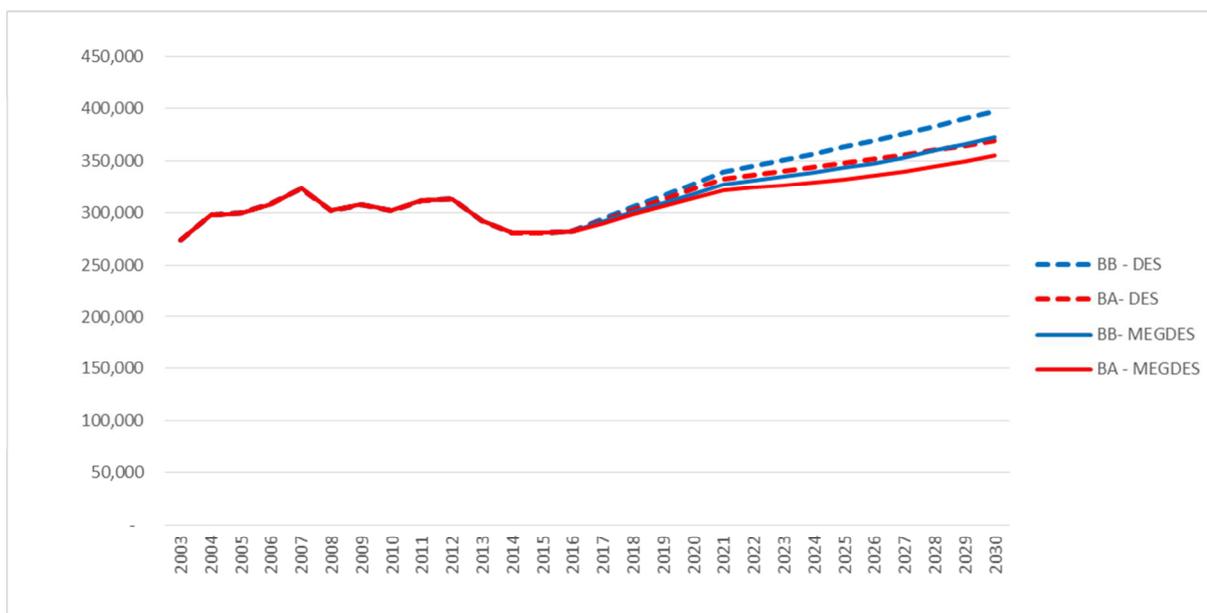
subsegmentos de petroquímicos básicos e de outros produtos químicos, por serem os que mais consomem combustíveis e energia elétrica, respectivamente, são também os subsegmentos que apresentam maiores potenciais de conservação de energia térmica e elétrica.

Nesta seção foram apresentados os resultados do modelo MEG-DES para os subsegmentos do setor químico. No entanto, resultados semelhantes para os demais setores industriais também podem ser obtidos a partir deste modelo e podem ser realizados como um desdobramento deste trabalho.

6.5 – Validação

É comum se buscar a “validação” de modelos de projeção de curto prazo. O modelo MEG-DES foi desenvolvido com o propósito de explorar possíveis evoluções futuras, no longo prazo, da demanda de energia de setores, sobretudo os energo-intensivos, da indústria brasileira; portanto, oscilações desta demanda no curto prazo não são detectáveis neste tipo de modelagem, como exemplificado adiante.

Quando se observa no modelo MEG-DES, o choque de 2016 em relação ao ano base de 2009, e se compara com a série histórica de consumo energético já existente neste período nota-se divergência nas projeções. Em particular, no período de 2013 a 2016, o consumo energético da indústria química brasileira sofreu forte redução devido à crise econômica atravessada pelo país e pela indústria química. Na aplicação do modelo MEG-DES se considera que o consumo energético futuro da indústria química, no longo prazo, seguirá trajetórias de crescimento atreladas ao desempenho econômico próprio e do resto da economia, bem como será influenciado pelo comportamento tendencial de sua série histórica. Considera-se que a queda no consumo energético ocorrida de 2013 a 2016 tenha sido um evento atípico e não será necessariamente replicado no futuro.

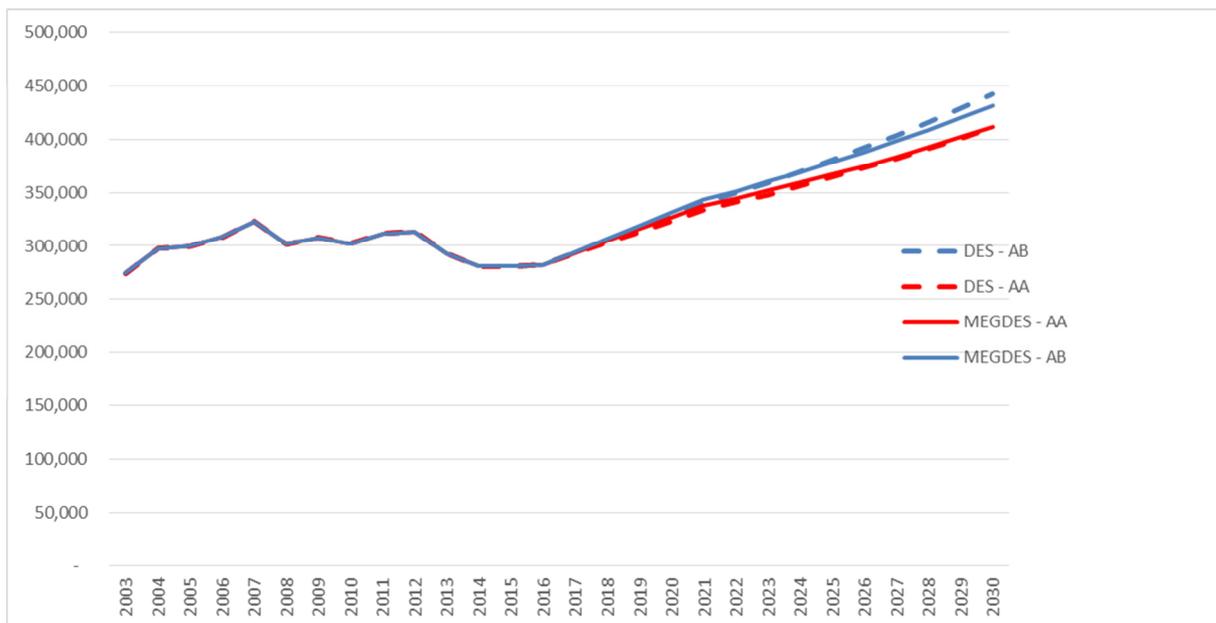


Fonte: Elaboração própria

Figura 6.12: Projeção do consumo de energia da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para os cenários tendenciais de crescimento econômico BB e BA, pelos modelos MEG-DES e DES

Na Figura 6.12 é apresentada uma comparação das projeções do consumo energético da indústria química realizadas pelo modelo MEG-DES, com as projeções realizadas apenas pelo modelo DES, sem o módulo MEG, para os cenários de crescimento econômico tendencial. Analogamente, a figura 6.13 mostra uma comparação dos resultados dos modelos MEG-DES e DES para os cenários alternativos de crescimento econômico.

Nota-se que, nos quatro cenários analisados, as projeções do consumo energético da indústria química apresentam valores próximos, por ambos os modelos. Em particular, nos cenários alternativos de crescimento econômico os valores das projeções são muito próximos, coincidindo no cenário AB.



Fonte: Elaboração própria

Figura 6.13: Projeção do consumo de energia da indústria química em TJ, de 2003 a 2030, para os cenários alternativos de crescimento econômico AB e AA, pelos modelos MEGDES e DES

Para se obter as projeções da demanda de energia da indústria química só com a utilização do modelo DES, os parâmetros deste modelo são projetados através de regressões tendenciais em suas séries históricas. Quando se compara as projeções destes parâmetros obtidas desta maneira, com a projeção dos parâmetros oriundos do módulo MEG do modelo MEG-DES, pode-se observar que:

- No cenário de alternativo de crescimento econômico, as projeções de alguns parâmetros do oriundos do modelo integrado MEG-DES são muito próximas das projeções obtidas pelas regressões temporais do modelo DES. Estes parâmetros são: participação da indústria química na indústria de transformação, participação da indústria de transformação na indústria e a participação da indústria no PIBpb.
- No cenário BAU, a projeção destes parâmetros diferem bastante; quando oriundos do modelo integrado MEG-DES tais parâmetros situam-se bem abaixo das projeções obtidas pelas regressões tendenciais do modelo DES. Este fato justifica as projeções do consumo energético da indústria química nos cenários BAU, BB e BA, serem mais baixas quando calculadas pelo modelo MEG-DES.

Logo, no modelo MEG-DES, os parâmetros se assemelham mais ao comportamento da série histórica quando se considera o PIB mais elevado, como no cenário alternativo. Note que os parâmetros acima mencionados, quando obtidos do modelo integrado MEG-DES, são originados de um “retrato” da economia, tomando o ano de 2009 como base.

A Tabela 6.5 apresenta a variação anual do consumo energético e elétrico projetado para todos os cenários abordados, *Business as usual* e Alternativo, obtidos pelo modelo MEG-DES e também somente pelo modelo DES. Note que os valores numéricos são próximos, em especial nos cenários alternativos de crescimento econômico.

Tabela 6.5: Taxas anuais de crescimento do consumo energético e elétrico do setor químico, em %, em todos os cenários escolhidos, projetadas pelo modelo MEG-DES e modelo DES.

Comparação dos modelos	Consumo Energético		Consumo Elétrico	
	MEGDES	DES	MEGDES	DES
AB	3.07%	3.26%	2.85%	2.82%
AA	2.73%	2.72%	2.50%	2.49%
BB	2.00%	2.48%	1.78%	2.04%
BA	1.65%	1.94%	1.42%	1.71%

Ao se trabalhar com a projeção energética para apenas um setor industrial, como apresentado aqui para o setor químico, ambos os modelos apresentam resultados próximos. No entanto, a vantagem de se trabalhar com o modelo MEG-DES reside principalmente no fato de se projetar conjuntamente vários setores industriais garantindo que todos estes setores cresçam de forma consistente com o crescimento do PIB adotado, considerando, também, seus relacionamentos intersetoriais. Logo, para se projetar o consumo energético de apenas um setor industrial, o modelo DES mostra-se suficiente, no entanto, para se projetar o consumo energético de diversos setores industriais o modelo MEG-DES é mais confiável e robusto.

Ambos os modelos necessitam de uma base de dados econômicos e energéticos consistente e confiável. Em particular o modelo DES, na forma utilizada nesta tese, necessita de séries históricas das variáveis abordadas. O modelo MEG necessita de dados apenas de um ano base para as suas variáveis, além de parâmetros como as elasticidades. A parte mais cara e trabalhosa de todo o trabalho aqui desenvolvido certamente é a

elaboração da base de dados. No entanto, com a compatibilização das classificações torna-se fácil atualizar a base de dados e trabalhar com inúmeros outros tipos de modelagens. Uma vez que se tem uma base de dados desenvolvida, ambos os modelos apresentam a mesma facilidade para a análise de novos cenários.

6.6 – Síntese

Na aplicação do modelo integrado MEG-DES, a primeira etapa a ser trabalhada é a definição dos cenários a serem utilizados nas projeções. O cenário tendencial escolhido (BB) se mostra bem conservador, com um crescimento médio do PIB de 2 % a.a.. O cenário alternativo de crescimento econômico não necessita de medidas excepcionais para ocorrer, mas precisa de maior cuidado com os gargalos da economia para se ter um crescimento sustentável médio do PIB de 3% a.a. Tais cenários foram escolhidos baseados nas projeções do FMI e do PDE 2016 para o PIB do Brasil. Medidas de conservação de energia adotadas por todos os subsegmentos da indústria química, que reduziriam os consumos específicos setoriais em 10% através de acordos voluntários entre governo e associações setoriais representando as empresas, foram adotadas nos cenários alternativos de energia BA e AA.

A utilização do modelo integrado MEG-DES ocorre em duas etapas. Na primeira delas, são aplicados choques no módulo MEG, refletindo as hipóteses adotadas nos cenários escolhidos. Parte dos resultados do módulo MEG é utilizada para se calcular parâmetros econômicos do módulo DES, que, junto com outros parâmetros deste módulo, propiciam a realização de projeções das demandas totais de energia e de eletricidade para os subsegmentos da indústria química.

O resultado encontrado neste trabalho para o crescimento médio da demanda de energia da indústria química até 2030 foi de 2% a.a. no cenário tendencial BB, e de 1,65% a.a. no cenário de conservação de energia BA. Estas projeções são um pouco superiores, mas compatíveis, dadas as diferenças nas hipóteses e metodologias empregadas, com a trajetória apresentada no PDE 2026, que aponta um crescimento médio de 1,28% a.a. para a indústria química até 2026. Os demais estudos analisados no capítulo 2, por não considerarem a crise econômica de 2015, não se mostram factíveis para a comparação de

resultados. Quando se considera a projeção do consumo energético apenas pelo modelo DES, nota-se que se chega a um crescimento do consumo energético de 2,46% a.a., superior às projeções do modelo MEG-DES e também do PDE2026.

Considerando as diferenças nos cenários propostos e as diferenças nas metodologias de projeção, o modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural MEG-DES aqui proposto apresentou resultados condizentes com os estudos do PDE 2026. O modelo aqui proposto considera, ainda, a inter-relação entre os setores econômicos e garante uma consistência macroeconômica para os cenários adotados.

7 Conclusões e recomendações

7.1 – Conclusões

Os modelos de projeção de demanda de energia para um horizonte de longo prazo são muito importantes no planejamento energético, pois as decisões de investimentos, que dependem destas projeções, devem ser tomadas com bastante antecedência, devido ao longo tempo de sua implementação. Neste trabalho propôs-se um modelo integrado de equilíbrio geral e desagregação estrutural (MEG-DES) para realizar projeções do consumo de energia de setores e subsetores da indústria brasileira no longo prazo. A aplicação do modelo foi exemplificada na indústria química desagregada em alguns subsetores energo-intensivos.

Não há modelos energéticos e, em particular, modelos de projeção da demanda de energia que sejam os melhores em todas as possíveis aplicações. Para cada aplicação específica, pode haver um ou mais tipos de modelos que possuem mais vantagens e menos desvantagens do que outros tipos. A estrutura relativamente sofisticada do modelo MEG-DES é particularmente interessante para aplicações em que se deseja prospectar, no longo prazo, possíveis cenários de desenvolvimento econômico e tecnológico de vários setores e subsetores industriais, sobretudo os energo-intensivos, levando em conta a evolução da economia como um todo e suas relações intersetoriais.

Os modelos de equilíbrio geral permitem simular cenários políticos e econômicos e projetar um equilíbrio da economia e da relação entre os setores, garantindo uma consistência macro e microeconômica. O módulo MEG representa as interações econômicas setoriais e a interdependência dos setores; no entanto, estas interações são capturadas em um ano base e, portanto, trata-se de uma representação estática. O módulo MEG aqui proposto é baseado no trabalho desenvolvido por Rutherford e Paltsev (1999), formulado como um problema de complementaridade, seguindo a escola neoclássica.

Já o modelo de desagregação estrutural -DES- possibilita uma representação tecnológica/energética mais detalhada das cadeias produtivas setoriais e é baseado em análises retrospectivas de seus parâmetros, permitindo, no entanto, simular possíveis rupturas de tendências em suas projeções, como possíveis inovações tecnológicas no futuro

A versão do modelo DES aqui utilizada baseou-se em trabalhos de Sharma (2009) e Bajay *et al.*, (2015).

A principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento do modelo MEG-DES para a economia brasileira, que com a integração das duas abordagens permitiu agregar os seus atrativos e minimizar as limitações de ambas as abordagens. Até o momento, pesquisas realizadas apontam que este é o primeiro trabalho a integrar estes dois tipos distintos de modelos: equilíbrio geral e desagregação estrutural.

O modelo integrado MEG-DES, com sua abordagem mista *top-down e bottom-up*, garante a consistência macro e microeconômica das projeções, considera o relacionamento inter-setorial, faz uma descrição detalhada das cadeias produtivas, considera possíveis mudanças nas tecnologias dos setores e simula os impactos de novas políticas econômicas e energéticas e como estas podem afetar a demanda de energia. Os resultados do modelo são projeções da demanda de energia da indústria brasileira, desagregada em setores e subsetores, para vários cenários de desenvolvimento econômico e energético selecionados. Por conta de seu módulo MEG, o modelo também fornece as variações futuras de preços e quantidades dos produtos de todos os setores econômicos, nestes cenários.

As principais limitações do modelo MEG-DES referem-se principalmente a base de dados. O modelo MEG-DES necessita de uma série histórica de variáveis econômicas e energéticas, para utilização no módulo DES, e alguns dados específicos de segmentos produtivos são difíceis de serem encontrados ou publicados. O módulo MEG necessita das elasticidades para descrever o comportamento dos agentes, que também são dados difíceis de serem encontrados para a economia brasileira. A complexidade do módulo MEG, com grande quantidade de equações, variáveis e parâmetros torna difícil a implementação de mudanças, a menos das variáveis que são propostas para os choques, e geralmente requerem softwares específicos para resolução de problemas de grande porte.

A forma mais usual de tratamento de incertezas em estudos prospectivos de longo prazo é a técnica de cenários, que também foi empregada neste trabalho. Foram definidos cenários de referência, *Business as Usual* (BAU), que postulam a manutenção das tendências tecnológicas/energéticas e econômicas detectadas no estudo, e cenários alternativos (ALT), que visam explorar um crescimento econômico mais elevado no país e a implantação de novos programas de conservação de energia na indústria. O cenário adotado como cenário de referência econômico segue as principais hipóteses assumidas no WEO 2017, do FMI, para o Brasil, que contemplam um crescimento médio do PIB em

torno de 2% a.a. no horizonte de estudo. O cenário alternativo de crescimento econômico considerado neste trabalho segue os parâmetros propostos no cenário de referência do PDE 2026, que estima um crescimento médio do PIB em torno de 3% a.a. no horizonte de estudo. O cenário alternativo de energia assume a adoção de medidas de eficiência energética na indústria que consigam reduzir os consumos específicos setoriais de energia para próximo do valor mínimo detectado em sua série histórica, através de acordos voluntários entre governo e associações setoriais que representam as empresas.

As principais contribuições deste trabalho são: a metodologia de compatibilização das classificações do sistema de contas Nacionais e do IBGE, a base de dados econômico e energética, a série de matrizes de contabilidade social, o modelo integrado MEGDES, e as projeções do consumo energético da indústria química e seus subsetores. Dentre estas contribuições, a compatibilização das classificações e o modelo MEG-DES constituem as principais inovações aqui apresentadas.

A utilização de uma base de dados adequada é necessária para detectar tendências, analisar indicadores, projetar demandas e assegurar confiança no uso de modelos em geral. Foi necessário o desenvolvimento de uma base de dados consistente e com agregação apropriada para realizar as análises e projeções desejadas neste trabalho. A base de dados desenvolvida compatibiliza as estatísticas econômicas do Sistema de Contas Nacionais e as estatísticas energéticas do Balanço Energético Nacional, com uma desagregação por cadeias produtivas, para o setor industrial, conforme a classificação adotada no projeto Eficind. A elaboração da base de dados econômico e energética e a compatibilização das classificações permitiu reduzir parte das limitações do modelo MEG-DES.

O sistema de compatibilização aqui elaborado é uma contribuição significativa desta tese que possibilita a atualização da base de dados com estatísticas econômicas e energéticas a serem divulgados futuramente pelo IBGE e MME, permitindo diversos outros tipos de análises econômico-energéticas como trabalhos futuros.

A elaboração da série de SAMs do Brasil, realizada neste trabalho, permite trabalhar com dados confiáveis e com consistência macroeconômica, pois existe um fechamento das contas de todos os setores da economia brasileira e, também, das contas do Brasil com o resto do mundo. A série das SAMs foi elaborada para que se pudesse compreender como variam os componentes do PIB, e para a obtenção de valores iniciais empregados nos cenários contrafactuais realizados no MEG. As projeções dos valores iniciais das SAMs foram realizadas através de uma matriz de participação destas séries no

PIB, garantindo que as variáveis que compõem a SAM variem de forma consistente com o PIB.”

A aplicação do modelo integrado MEG-DES na tese contemplou duas etapas consecutivas. Na primeira delas, foram aplicados choques nas variáveis exógenas do módulo MEG de acordo com as hipóteses assumidas nos cenários escolhidos. Parte dos resultados do módulo MEG foi utilizada para se calcular parâmetros econômicos do módulo DES, que, junto com outros parâmetros deste módulo, permitiram a realização de projeções das demandas totais de energia e de eletricidade para os subsetores da indústria química. O modelo produziu projeções factíveis condizentes com as hipóteses adotadas e aderentes com os resultados de outros estudos recentes como o PDE 2026.

7.2 – Recomendações

Como um desdobramento imediato deste trabalho pode-se realizar projeções da demanda energética dos demais setores industriais e seus subsegmentos, conforme a classificação do projeto Eficind, ou de acordo com a classificação do Balanço Energético Nacional.

O módulo MEG fornece uma grande quantidade de resultados que não foram foco de análise neste trabalho, mas que podem ser úteis em trabalhos futuros.

A demanda total de energia de cada setor industrial pode ser desagregada na demanda de eletricidade, já calculada no modelo MEG-DES, e na demanda de combustíveis. Se não houver autoprodução de eletricidade em um determinado setor industrial, a demanda total de combustíveis é calculada diretamente como a diferença entre a demanda total de energia do setor e sua demanda de energia elétrica. Em havendo a autoprodução a partir de combustíveis, a demanda total destes pode ser obtida subtraindo-se da demanda total de energia a energia elétrica adquirida da rede. A demanda de cada tipo de combustível pode ser projetada através de projeções de sua parcela de mercado, conforme realizado por Sharma (2010b).

O modelo MEG-DES foi desenvolvido nesta tese com uma agregação apropriada para a análise e projeções do consumo energético de setores e subsetores da indústria.

Novas versões do modelo MEG-DES podem focar em outros setores da economia, adotando para isso agregações apropriadas.

Referências bibliográficas

ADAMS, P.A., DIXON, P.B., et al. “Forecasts for the Australian Economy Using the MONASH Model”, Paper presented to International Symposium on Economic Modelling, University of Piraeus, Greece. 1993

ADELMAN, I.; ROBINSON, S., “Income Distribution Policies in Developing Countries”, Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1978.

ARROW, J.K., and DEBREU,G.; “Existence of an equilibrium for a competitive economy”, *Econometrica* 22, 1954.

BAJAY, S.V., “Long term electricity demand forecasting models: a review of methodologies”, *Electr. Power Syst. Res.*, 6 (4): 243-57, 1983.

BAJAY,S.V.; “Modelos de planejamento da expansão de sistemas energéticos”, *Revista brasileira de tecnologia e negócios de petróleo, gás, petroquímica, Química fina e indústria do plástico – TNPetróleo*, 2004.

BAJAY, S. V., BORDONI, O. F. J. G., SHARMA, R.F.C. et al., “Demanda de energia da indústria química brasileira: fatores responsáveis por sua evolução no passado e perspectivas futuras”. In: *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético*, 9. Florianópolis, SC. 2014.

BAJAY, S.V., BORDONI, O. F. J. G., SHARMA, R.F.C., et al., Projeto: Estudo de prospecção de potencial para eficiência energética (EFICIND), Finep, Relatório: “Meta física 7- Projeções da demanda energética e de potenciais de conservação de energia” 2015

BANCO CENTRAL DO BRASIL, acessado em janeiro de /2018, disponível em <http://www.bcb.gov.br/htms/selic/ conceitotaxaselic.asp?idpai=SELICTAXA>

BHATTACHARYYA, S.C.; “Applied general equilibrium models for studies: a survey” *Energy economics* 16, 260-271, 1996.

BHATTACHARYYA, S.C.; "Energy sector management issues: an overview", International journal of energy sector management 1, p 13-33, 2007.

BOHRINGER, C. , "The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling", Energy Economics 20, 1998

BOHRINGER, C., LOSCHEL,A., et al. "Promoting renewable energy in Europe: a hybrid computable general equilibrium approach", The Energy Journal. 2006

BORDONI, O. F. J. G., "PEGASUS: o Problema de Equilíbrio Geral Aplicado resolvido por um Sistema Unificado de Suporte Computacional", tese de mestrado, Dep. Matemática Aplicada, UNICAMP, Campinas, Brasil. 1989.

BORDONI, O.F.J.G., "Métodos Quantitativos para Construção, Calibragem e Solução de Modelos Computáveis de Equilíbrio Geral de Grande Porte", Tese de doutorado, Campinas, 2001.

BURNIAUX, J. M. ; MENSBRUGGHE, D. van der, "The RUNS model: a rural-urban North-South general equilibrium model for agricultural policy analysis". Technical Papers - OECD Development Centre No.33 pp.82pp. 1990.

CARVALHO, C. B. e BAJAY, S. V., Um modelo de projeção da demanda energética baseado em projeções das atividades econômicas e das respectivas intensidades energéticas. In: Congresso Brasileiro de Energia, 11. Rio de Janeiro, Anais, v. 3. COPPE/UFRJ e Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, p. 1609-14,2006.

CHATEAU, B. and LAPILLONNE, B., Long term energy demand forecasting: A new approach, Energy Policy, 6 (2): 140-57, 1978

DERVIS, K., "Planning Capital-Labor Substitution and Intertemporal Equilibrium with a Non-linear Multi-sector Growth Model", European Economic Review 6 (1), pp. 77-96, 1975.

DERVIS, K; DE MELO, J.; ROBINSON, S., “General equilibrium models for development policy”, The World Bank, Washington, D.C., 1982.

DE MURO, P. E SALVATICI, L., “The common agricultural policy in multisectoral models”, INEA Working Paper n.11, Istituto Nazionale di Economia Agraria, 2001.

DIXON, P. B., PARMENTER, B., RYLAND, G., SUTTON J., “ORANI - A General Equilibrium Model of the Australian Economy”, vol. 2, Canberra: Government Publishing Service, 1977.

DIXON, P.B., PARMENTER, B.R., SUTTON, J.,VICENT, D.P.,”ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy, North-Holland, Amsterdam. 1982.

DIXON, P.B., et al. “Notes and problems in applied general equilibrium economics”. 1992

DIXON, P. B., PARMENTER, B., “Computable general equilibrium modeling for policy analysis and forecasting”. In Handbook of Computational Economics. Elsevier, v.1, 1996.

ENERDATA, Energy forecasting and modeling, Grenoble, France, 2015.

EPE/MME, Plano Nacional de Energia 2030 – PNE2030, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2007.

EPE/MME, Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 – PDE2023, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2014.

EPE/MME, Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 – PDE2024, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2015.

EPE/MME, Plano Decenal de Expansão de Energia 2026- PDE2026, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2017.

EPE/MME, PNE2050 – “Cenário econômico 2050”, Série Estudos Econômicos, Nota técnica DEA 12/14. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2014 a.

EPE/MME, PNE2050 - “Demanda de Energia 2050”, Série Estudos da demanda de energia, Nota técnica DEA 13/14, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF, 2014 b.

EPE/MME, BEN2017 -“Balanço Energético Nacional 2017”. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME), Brasília, DF 2017.

EIA, “The National Energy Modeling System: An Overview Office of Integrated Analysis and Forecasting”, Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, Washington, D.C. 1994

FEIJÓ, F. F.; PORTO JÚNIOR, S. S.; “Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: uma análise utilizando equilíbrio geral computável”. *Análise Econômica*, João Pessoa, v. 27, n. 51, p. 127-154, 2009.

FERREIRA FILHO, J. B. S., “MEGABRÁS-Modelo de Equilíbrio Geral Aplicado à Agricultura Brasileira”, Tese de Doutorado. FEA-USP 1995

FERREIRA FILHO, J. B. S., “Ajuste estrutural e agricultura na década de 80: uma abordagem de equilíbrio geral”, *Pesquisa e Planejamento Econômico* 27 (2) 1997

FERREIRA FILHO, J.B.S. and M. HORRIDGE,; “The Doha Round, Poverty and Regional Inequality in Brazil”. In *Poverty and WTO: Impacts of the Doha development agenda*, ed. T.H. Hertel and L.A.Winters, 183-218. London: Palgrave Macmillan, Washington, DC: World Bank, 2006.

FERREIRA FILHO, J.B.S. “The rise in global demand for ethanol and poverty in Brazil”. 2011

FERREIRA FILHO, J.B.S., DINIZ, T. , “Impactos Econômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral”. Revista de economia e sociologia rural, vol 53, Brasília, jun. 2015.

FERRIS M.C.; PANG J.S. “Engineering and economic applications of complementarity problems”, 1997

FMI, International Monetary Fund, “World Economic Outlook”, outubro de 2017

FREI, C. et al., 2003 “Dynamic formulation of top-down and bottom-up merging energy policy models”, Energy Policy.

FONTANA, I., et al., “Balancing a social accounting matrix : Theory and application” Centre Interuniversitaire sur le Risque Politiques Economiques et L’Emploi (CIRPEE), Université Laval, August 2005.

GABRIEL, S. A. et al., “A nonlinear complementarity approach for the national energy modeling system”, Energy Policy, 1995.

GEM-E3 General Equilibrium Model for Economy-Energy-Environment – acessado em 15/05/2018, disponível em <https://ec.europa.eu/jrc/en/gem-e3/model>

GILBERT, J. “Closure in CGE models – Short course on CGE modeling” Utah State University, 2013.

GRIFIN, J. M., “Methodological advances in energy modelling: 1970-90”. In: Lesourd, J. B., Percebois, J. & Valette, F. (Eds.), Models for Energy Policy, Routledge, London, p. 3-13, 1990.

GTAP, Global Trade Analysis Project – acessado em maio de 2018, disponível em <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/about/project.asp>

GUILHOTO, J.J.M., “Um Modelo Computável De Equilíbrio Geral Para Planejamento E Análise De Políticas Agrícolas (PAPA) Na Economia Brasileira” (1995). Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, 1995.

GUILHOTO, J.J.M. “Análise de insumo-produto: Teoria e fundamentos”, FEA/USP - acessado em 28/09/2018 <https://guilhotojjmg.wordpress.com/apresentacoes-power-point/analise-de-insumo-produto-teoria-fundamentos-e-aplicacoes/>. 2011

GURGEL, A.C., RUTHERFORD, T.F., HARRISON, G.W, et al, "Regional, multilateral, and unilateral trade policies on MERCOSUR for growth and poverty reduction in Brazil," Policy Research Working Paper Series 3051, The World Bank. 2003.

GURGEL, A.C., RUTHERFORD, T.F., HARRISON, G.W, et al.. "Trade Policy and Poverty Reduction in Brazil," World Bank Economic Review, World Bank Group, vol. 18(3), pages 289-317. 2004

GURGEL, A.C. “PAEG “Hands On”- Instalação e Execução do Programa PAEG”, Technical Paper No. 5, 2013

GURGEL, A.C., PALTSEV,S.,et al., “Climate change policy in Brazil and Mexico: Results from the MIT EPPA model”, Energy Economics, 2015.

HADDAD, E.; HEWINGS, G. “The Theoretical specification of B-MARIA”. Discussion Paper 97-T-5, University of Illinois at Urbana-Champaign, Regional Economics Applications Laboratory, 1997

HADDAD, E (coord.) et al.; “B-MARIA-27: An Interstate CGE Model for Brazil”. Research memo. FIPE, 2003

HADDAD, E.; DOMINGUES,E.; “EFES: um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004”. Estudos Econômicos, v. 31(1), p. 89-125, 2001.

HARRISON, W. J. e PEARSON K.R., "Computing Solutions for Large General Equilibrium Models Using GEMPACK", Computational Economics 9: 83-127, Kluwer Academic Publishers. Netherlands, 1996.

HARRISON, G.W., RUTHERFORD,T.F., TARR, D. G.,e GURGEL,A. "Trade Policy and Poverty Reduction in Brazil." The World Bank Economic Review. Vol. 18, No. 3, pp. 289-317. Oxford University Press. 2004.

HERTEL, T. W., HORRIDGE, J. M., PEARSON, K. R.,. "Mending the Family Tree: A Reconciliation of the Linearization and Levels Schools of CGE Modelling," Centre of Policy Studies/IMPACT Centre Working Papers ip-54, Victoria University, 1991

HORRIDGE, J.M., MADDEN, J.R. and WITWER, G.; "The impact of the 2002-03 drought on Australia", Journal of Policy Modeling, Vol 27/3, pp. 285-308, 2005.

HOURLCADE,J.C., JACCARD, M.,BATAILLE, C., GHERSI, F.; "Hybrid modeling: New answer to old challenges" The Energy Journal, International Association for Energy Economics, 2 (Special issue), pp.1-12. 2006

IAEA, Model for Analysis of Energy Demand (MAED-2), Computer Manual Series, No. 18, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria, January 2006.

IBGE, "Notas metodológicas do Sistema de Contas Nacionais Brasil – Referência 2000", de 1 a 21, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007.

IBGE, "Notas metodológicas da nova série do Sistema de Contas Nacionais referência 2010", de 1 a 21, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.

IBGE, Concla, acessado em novembro de 2017, disponível em https://concla.ibge.gov.br/classificacoes/correspondencias/atividades_economicas.html ,

ITAMARATY, acessado em janeiro de 2018, disponível em <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/diplomacia-economica-comercial-e-financeira/15584-o-brasil-e-a-ocde>

ITAMARATY, acessado em janeiro de 2018 b, disponível em <http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/mecanismos-inter-regionais/3672-brics>

JOHANSEN, L., “A multisectorial study of economic growth”, 1960.

LEITE, A.D. “A energia do Brasil”, 2 ed. Ver. E atual. Elsevier, 2007.

LEITE, A. A. F., BAJAY, S. V., BERNI, M. D. e PEREIRA, A. F. S., “Cenários de projeção dos principais energéticos do Estado de São Paulo aplicando o modelo de desagregação estrutural”. In: Congresso Brasileiro de Energia, 11. Rio de Janeiro, Anais, v. 1. COPPE/UFRJ e Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, p. 145-55. 2006a.

LEITE, A. A. F., BAJAY, S. V. e PEREIRA, A. F. S., “Projeção da demanda setorial de energia do Estado de São Paulo, aplicando o modelo de desagregação estrutural em três cenários alternativos de crescimento da economia do Estado”. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 5. Brasília, DF,. Anais. SBPE, Brasília, DF, 14 p (anais distribuídos na forma de CD-ROM) 2006b.

LEONTIEF, W., “The structure of American economy”, 1941

LYSY, F., and TAYLOR, L., "A Computable General Equilibrium Model for the Functional Income Distribution: Experiments for Brazil, 1959-71", Washington, D.C.: World Bank, 1977.

LUCENA, A.F.P., et al., “Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy”, Energy Economics, 2016.

MAGALHÃES, A.S. “Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases do efeito estufa”, Tese de doutorado, UFMG, 2013

MALDONATO, W.L., TOURINHO, O.A.F., VALLI, M.; “Endogenous foreign capital flow in a CGE model for Brazil: The role of the foreign reserves”. Ipea discussion paper 133. 2003

MATHIESEN, L., “Computation of economic equilibria by a sequence of linear complementarity problems”, 1985

MEIER, P.; “Energy Systems Analysis for Developing Countries”, Springer- Verlag, Berlin, 1984.

MELO, J.; ROBINSON, S.; “The treatment of foreign trade in computable general equilibrium models of small economies (English).” Development Research Department discussion paper; no. DRD 189. Washington DC: World Bank. 1986

MITRA- KAHN, B. H., “Debunking the Myths of Computable General Equilibrium Models.” Working paper 2008-1, Schwartz Center for Economic Policy Analysis, Department of Economics, The New School for Social Research, 2008

NAJBERG, S., F. J. Z. RIGOLON, S. P. Vieira, "Modelo de Equilíbrio Geral Computável como Instrumento de Política Econômica: Uma Análise de Câmbio X Tarifas". Textos para Discussão n. 30. Rio de Janeiro: BNDES. 1995

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D., et al. “The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: version 4”. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. Cambridge, 2005.

PATUSCO, J.A.M., “Energia e economia”, coordenador geral do MME, apresentação realizada na CPFL- Companhia Paulista de Força e luz, em 2011.

PEROBELLI, F.S., HADDAD, E.A., et al. “Variações na produtividade e impactos sobre o setor de energia: Uma análise de equilíbrio geral”, 2009.

PINDYCK, R.S, and RUBINFELD, D.L. “Microeconomia”, editora Pearson, 2005.

RIBEIRO, L.C.S., “Investimentos estruturantes e desigualdades regionais na região nordeste”, tese de doutorado, UFMG, 2015

ROBINSON, S., NAUDE, A.Y., OJEDA, R.H., et al. “From stylized to applied models: Building multisector CGE models for policy analysis.” *The North American Journal of Economics and Finance*. Volume 10, Issue 1, Pages 5-38, 1999.

RUTHERFORD, T. “Applied general equilibrium modeling”, Ph.D. thesis. Department of Operations Research, Stanford University. 1987.

RUTHERFORD T. F., “Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem”, Department of Economics, University of Colorado, Boulder, Jan. 1994.

RUTHERFORD, T. F. "Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax", Department of Economics University of Colorado November 1995.

RUTHERFORD, T. and S. PALTSEV “From an Input-Output Table to a General Equilibrium Model: Assessing the Excess Burden of Indirect Taxes in Russia”, 1999.

RUTHERFORD, T. et al , “Lecture Notes on Constant Elasticity Functions”, 2002

SANCHO, F. “Calibration of CES functions for real-world multisectoral modeling” 2009.

SANTIAGO, F.S; PEROBELLI, F.S.; MATOS R.S.; “Um modelo integrado econométrico+ insumo-produto para a previsão de longo prazo da demanda de combustíveis no Brasil.” 2011.

SCARAMUCCI, J.A., "Análise Aplicada de equilíbrio econômico com Pegasus e Mathematica" Tese de Livre Docência, Dep. Matemática Aplicada, UNICAMP, Campinas, Brasil. 1997.

SCARF, H., “The computation economic equilibria” 1973

SHARMA, R. F. C., BERNI, M. D. e BAJAY, S. V., “A indústria de celulose e papel do Brasil: Caracterização energética e projeções de sua demanda de energia para cenários de crescimento econômico e de conservação de energia”. In: Congresso Brasileiro de Energia, 13. Rio de Janeiro, RJ, Anais, v. 1. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 221-32, 2010.

SHARMA, R.F.C.; “Projeção da demanda energética no setor industrial brasileiro”, 131 p Dissertação (Mestrado em planejamento de sistemas energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SHARMA, R.F.C, BAJAY, S.V., Projeto: Estudos sobre perspectivas para eficiência energética: Setor industrial, IEI – International Energy Initiative, Relatório: Impactos na demanda de energia. 2010 a.

SHARMA, R.F.C., BAJAY, S.V., Projeto: Potencial de utilização térmica e prêmio pago pelo gás natural nos segmentos industriais em substituição ao óleo combustível, Petrobrás, Relatório: Projeções da demanda energética do setor industrial. 2010 b.

SHOVEN, J. e WHALLEY, J., "On the Computation of Competitive Equilibria on International Markets with Tariffs", *Journal of International Economics*, vol 4 pp 341-354. 1974.

SHOVEN, J. e WHALLEY, J.; “Applying General Equilibrium”, Cambridge Surveys of Economic Literature, Cambridge University Press.1992.

SILVA, J. G.; “Impactos econômicos de políticas de mitigação das mudanças climáticas na economia brasileira: um estudo a partir de um modelo de equilíbrio geral computável”.128p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

TAYLOR, L. e BLACK S.L., “Practical general equilibrium estimation of resource pulls under trade liberalizations”, *Journal of International Economics* 4(1), pp. 37-58, 1974.

TOLMASQUIM, M. T. e SZKLO, A. S., “A Matriz Energética Brasileira na Virada do Milênio”, COPPE/UFRJ e Energe, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

TOURINHO, O. A., KUME, H., “Os impactos dos acordos de livre comércio: uma avaliação com modelo CGE para a economia brasileira”, IPEA/DIMAC, 2002

TOURINHO, O.A.F.; ALVES, Y.B.; SILVA, N.L.C.; “Implicações Econômicas da Reforma Tributária: Análise com um Modelo CGE”. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, v. 64, n. 3, p. 307-340, ISSN 1806-9134.2010.

TOURINHO, O. A. F., et al, “Uma matriz de contabilidade social para o Brasil em 2003”, 2006.

TOURINHO, O.A.,KUME, H. ,and PEDROSO A.; “Armington Elasticities for Brazil – 1986-2002: New Estimates”. No 124, Discussion Papers from Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2006

VARIAN, H.R.; “Microeconomic Analysis”, New York: Norton. 1992.

VARIAN, H.R.; “Microeconomia: uma abordagem moderna”, Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

WALRAS, L.; “Éléments d'Économie Politique Pure”, Lausanne: L. Corbaz. 1874, 1877.

WHALLEY, J. e SHOVEN,J.B., et al., “A general equilibrium model for tax policy evaluation”, National Bureau of economic research monograph, The University of Chicago, 1985

WING, I.S.,“Computable General Equilibrium Models and their use in economy-wide policy analysis, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical Note No. 6, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 2004.

WOLFRAN, S. J., "Mathematica, a System for Doing Mathematics by Computer", California, Redwood City: Addison-Wesley. 1991.

Anexo A - Premissas Adotadas na compatibilização das classificações

CNAE 2		SCN 43	Hipótese adotada		
05.00-3	Extração de carvão mineral	3	Extração de petróleo e gás	2	Extrativa mineral
08.99-1	Extração de minerais não-metálicos não especificados anteriormente	3	Extração de petróleo e gás	2	Extrativa mineral
09.90-4	Atividades de apoio à extração de minerais, exceto petróleo e gás natural	3	Extração de petróleo e gás	2	Extrativa mineral
12.10-7	Processamento industrial do fumo	1	Agropecuária	25	Beneficiamento de produtos vegetais
14.22-3	Fabricação de artigos do vestuário, produzidos em malharias e tricotagens, exceto meias	21	Indústria têxtil	22	Artigos do vestuário
20.31-2	Fabricação de resinas termoplásticas	17	Refino do Petróleo	18	Químicos diversos
20.32-1	Fabricação de resinas termofixas	17	Refino do Petróleo	18	Químicos diversos
20.33-9	Fabricação de elastômeros	17	Refino do Petróleo	18	Químicos diversos
24.49-1	Metalurgia dos metais não-ferrosos e suas ligas não especificados anteriormente	18	Químicos diversos	6	Metalurgia não-ferrosos
59.20-1	Atividades de gravação de som e de edição de música	14	Papel e gráfica	39	Serviços prestados as empresas
77.21-7	Aluguel de equipamentos recreativos e esportivos	39	Serviços prestados as empresas	38	Serviços prestados as famílias
77.22-5	Aluguel de fitas de vídeo, DVDs e similares	39	Serviços prestados as empresas	38	Serviços prestados as famílias
77.23-3	Aluguel de objetos do vestuário, jóias e acessórios	39	Serviços prestados as empresas	38	Serviços prestados as famílias
77.29-2	Aluguel de objetos pessoais e domésticos não especificados anteriormente	39	Serviços prestados as empresas	38	Serviços prestados as famílias
93.19-1	Atividades esportivas não especificadas anteriormente	1	Agropecuária	38	Serviços prestados as famílias
96.09-2	Atividades de serviços pessoais não especificadas anteriormente	1	Agropecuária	38	Serviços prestados as famílias

**Anexo B - Tabela de correlação das classificações CNAE2, CNAE1, SCN 43, SCN51, BEN,
Eficind**

CNAE 2	CNAE 1	SCN 43		SCN 51		BEN		Eficind	
código	código	cód.	Descrição	cód.	Descrição	setor	Descrição	cód.	descrição
0500	1000	3	Extr. de pet. e gás, carvão e outros	3	Petróleo e gás natural	1	Setor energético	1.1	Energético- Energia primária
0600	1110	3	Extr. de pet. e gás, carvão e outros	3	Petróleo e gás natural	1	Setor energético	1.1	Energético- Energia primária
0710	1310	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	4	Minério de ferro	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0721	1321	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0722	1322	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0723	1323	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0724	1324	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0725	1325	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0729	1329	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0810	1410	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0891	1421	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0892	1422	30	Outros produtos alimentares	5	Outros da indústria extrativa	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros
0893	1429	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0899	1429	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
0910	1120	3	Extr. de pet. e gás, carvão e outros	3	Petróleo e gás natural	1	Setor energético	1.1	Energético- Energia primária
0990	1429	2	Extrativa mineral (exceto combust.)	5	Outros da indústria extrativa	10	Mineração e pelotização	10.0	Mineração e pelotização
1011	1511	27	Abate e preparação de carnes	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.3	Alimentos e bebidas - Carnes
1012	1511	27	Abate e preparação de carnes	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.3	Alimentos e bebidas - Carnes
1013	1513	27	Abate e preparação de carnes	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.3	Alimentos e bebidas - Carnes
1020	1514	31	Outras indústrias alimentares e de	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.3	Alimentos e bebidas - Carnes
1031	1521	26	Benef. de produtos de origem	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros
1032	1522	26	Benef. de produtos de origem	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros
1033	1523	26	Benef. de produtos de origem	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.4	Alimentos e bebidas - Sucos
1041	1531	30	Fab. e refino de óleos vegetais e	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros
1042	1532	30	Fab. e refino de óleos vegetais e	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros
1043	1533	30	Fab. e refino de óleos vegetais e	6	Alimentos e Bebidas	13	Alimentos e bebidas	13.6	Alimentos e bebidas - Outros

1051	1541	28 Resfriamento e preparação do leite e	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.2 Alimentos e bebidas - Laticínios
1052	1542	28 Resfriamento e preparação do leite e	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.2 Alimentos e bebidas - Laticínios
1053	1543	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1061	1551	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1062	1552	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1063	1553	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1064	1554	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1065	1555	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1066	1556	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1069	1559	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1071	1561	29 Indústria do açúcar	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.1 Alimentos e bebidas - Açúcares
1072	1562	29 Indústria do açúcar	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.1 Alimentos e bebidas - Açúcares
1081	1571	25 Indústria do café	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1082	1572	25 Indústria do café	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1091	1581	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1092	1582	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1093	1583	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1094	1584	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1095	1585	26 Benef. de produtos de origem	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1096	1589	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1099	1586	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1111	1591	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1112	1592	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1113	1593	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.5 Alimentos e bebidas - Cervejas
1121	1594	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1122	1595	31 Outras indústrias alimentares e de	6 Alimentos e Bebidas	13 Alimentos e bebidas	13.6 Alimentos e bebidas - Outros
1210	1600	26 Benef. de produtos de origem	7 Produtos do fumo	17 Outros	17.5 Outros - Outros
1220	1600	26 Benef. de produtos de origem	7 Produtos do fumo	17 Outros	17.5 Outros - Outros
1311	1711	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.1 Têxtil - Fiação
1312	1722	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.1 Têxtil - Fiação
1313	1723	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.1 Têxtil - Fiação
1314	1724	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.1 Têxtil - Fiação
1321	1741	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1322	1741	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem

1323	1741	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1330	1771	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1340	1750	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1351	1761	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1352	1762	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1353	1763	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.1 Têxtil - Fiação
1354	1764	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1359	1769	22 Indústria têxtil	8 Têxteis	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1411	1811	23 Fab. de artigos do vestuário e	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.3 Têxtil - Confecção
1412	1812	23 Fab. de artigos do vestuário e	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.3 Têxtil - Confecção
1413	1813	23 Fab. de artigos do vestuário e	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.3 Têxtil - Confecção
1414	1821	23 Fab. de artigos do vestuário e	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.3 Têxtil - Confecção
1421	1772	22 Indústria têxtil	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1422	1779	22 Indústria têxtil	9 Art. do vestuário e aces.	14 Têxtil	14.2 Têxtil - Tecelagem
1510	1910	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1521	1921	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1529	1929	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1531	1931	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1532	1932	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1533	1933	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1539	1939	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1540	1939	24 Fab. de calçados e de artigos de	10 Artef. de couro e calçados	17 Outros	17.1 Outros
1610	2010	14 Serrarias e fabricação de artigos	11 Prod. de madeira - excl. móveis	17 Outros	17.1 Outros
1621	2021	14 Serrarias e fabricação de artigos	11 Prod. de madeira - excl. móveis	17 Outros	17.1 Outros
1622	2022	14 Serrarias e fabricação de artigos	11 Prod. de madeira - excl. móveis	17 Outros	17.1 Outros
1623	2023	14 Serrarias e fabricação de artigos	11 Prod. de madeira - excl. móveis	17 Outros	17.1 Outros
1629	2029	14 Serrarias e fabricação de artigos	11 Prod. de madeira - excl. móveis	17 Outros	17.1 Outros
1710	2110	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.1 Papel e Celulose - Celulose
1721	2121	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.2 Papel e Celulose - Papel
1722	2122	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.2 Papel e Celulose - Papel
1731	2131	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens
1732	2132	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens
1733	2132	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens
1741	2142	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens

1742	2149	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens
1749	2149	15 Indústria de papel e gráfica	12 Celulose e prod. de papel	15 Papel e Celulose	15.3 Papel e Celulose - Embalagens
1811	2221	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1812	2222	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1813	2222	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1821	2229	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1822	2229	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1830	2232	15 Indústria de papel e gráfica	13 Jornais revistas discos	17 Outros	17.1 Outros
1921	2321	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	14 Refino de petróleo e coque	1 Setor Energético	1.2 Energético - Energia secundária
1922	2329	17 Fab. de elementos químicos	14 Refino de petróleo e coque	1 Setor Energético	1.2 Energético - Energia secundária
1931	2340	17 Fab. de elementos químicos	15 Álcool	1 Setor Energético	1.2 Energético - Energia secundária
1932	2429	17 Fab. de elementos químicos	16 Produtos químicos	1 Setor Energético	12.5 Química - Outros
2011	2411	17 Fab. de elementos químicos	16 Produtos químicos	12 Química	12.1 Química - Cloro e álcalis
2012	2412	17 Fab. de elementos químicos	16 Produtos químicos	12 Química	12.4 Química - Fertilizantes
2013	2413	19 Fab. de prod. químicos diversos	16 Produtos químicos	12 Química	12.4 Química - Fertilizantes
2014	2414	17 Fab. de elementos químicos	16 Produtos químicos	12 Química	12.5 Química - Outros
2019	2419	17 Fab. de elementos químicos	16 Produtos químicos	12 Química	12.5 Química - Outros
2021	2421	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	16 Produtos químicos	12 Química	12.2 Química- Petroq. básicos
2022	2422	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	16 Produtos químicos	12 Química	12.5 Química - Outros
2029	2429	19 Fab. de prod. químicos diversos	16 Produtos químicos	12 Química	12.5 Química - Outros
2031	2431	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	17 Fab. de resina e elastômeros	12 Química	12.3 Química - Resinas termoplásticas
2032	2432	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	17 Fab. de resina e elastômeros	12 Química	12.5 Química - Outros
2033	2433	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	17 Fab. de resina e elastômeros	12 Química	12.5 Química - Outros
2040	2442	18 Refino do petróleo e ind. petroq.	17 Fab. de resina e elastômeros	12 Química	12.5 Química - Outros
2051	2463	19 Fab. de prod. químicos diversos	19 Defensivos agrícolas	12 Química	12.5 Química - Outros
2052	2461	19 Fab. de prod. químicos diversos	19 Defensivos agrícolas	12 Química	12.5 Química - Outros
2061	2471	20 Fab. de produtos farmacêuticos e	20 Perfumaria higiene e limpeza	12 Química	12.5 Química - Outros
2062	2472	19 Fab. de prod. químicos diversos	20 Perfumaria higiene e limpeza	12 Química	12.5 Química - Outros
2063	2473	20 Fab. de produtos farmacêuticos e	20 Perfumaria higiene e limpeza	12 Química	12.5 Química - Outros
2071	2481	19 Fab. de prod. químicos diversos	21 Tintas vernizes esmaltes e	12 Química	12.5 Química - Outros
2072	2482	19 Fab. de prod. químicos diversos	21 Tintas vernizes esmaltes e	12 Química	12.5 Química - Outros
2073	2483	19 Fab. de prod. químicos diversos	21 Tintas vernizes esmaltes e	12 Química	12.5 Química - Outros
2091	2491	19 Fab. de prod. químicos diversos	22 Prod. e prep. químicos div.	12 Química	12.5 Química - Outros
2092	2492	19 Fab. de prod. químicos diversos	22 Prod. e prep. químicos div.	12 Química	17.1 Outros

2093	2494	19 Fab. de prod. químicos diversos	22 Prod. e prep. químicos div.	12 Química	12.5 Química - Outros
2094	2493	19 Fab. de prod. químicos diversos	22 Prod. e prep. químicos div.	12 Química	12.5 Química - Outros
2099	2499	19 Fab. de prod. químicos diversos	22 Prod. e prep. químicos div.	12 Química	12.5 Química - Outros
2110	2451	20 Fab.de produtos farmacêuticos e	18 Produtos farmacêuticos	12 Química	12.5 Química - Outros
2121	2452	20 Fab.de produtos farmacêuticos e	18 Produtos farmacêuticos	12 Química	17.1 Outros
2122	2453	20 Fab.de produtos farmacêuticos e	18 Produtos farmacêuticos	12 Química	17.1 Outros
2123	2454	20 Fab.de produtos farmacêuticos e	18 Produtos farmacêuticos	12 Química	17.1 Outros
2211	2511	16 Indústria da borracha	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2212	2512	16 Indústria da borracha	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2219	2519	16 Indústria da borracha	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2221	2529	21 Indústria de transf. de material	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2222	2522	21 Indústria de transf. de material	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2223	2529	21 Indústria de transf. de material	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2229	2529	21 Indústria de transf. de material	23 Art. de borracha e plástico	17 Outros	17.1 Outros
2311	2611	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	10 Mineração e pelotização	17.1 Outros
2312	2612	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	10 Mineração e pelotização	17.1 Outros
2319	2619	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	10 Mineração e pelotização	17.1 Outros
2320	2620	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	7 Cimento	7.0 Cimento
2330	2630	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	7 Cimento	7.0 Cimento
2341	2642	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	16 Cerâmica	16.4 Cerâmica - Outros
2342	2641	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	16 Cerâmica	16.1 Cerâmica - Vermelha
2349	2649	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	16 Cerâmica	16.2 Cerâmica - Sanitária
2391	2691	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	10 Mineração e pelotização	17.1 Outros
2392	2692	4 Fab. de minerais não metálicos	24 Cimento e out. prod. de min.	17 Outros	17.1 Outros
2411	2713	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	8 Siderurgia	8.1 Siderurgia - Gusa
2412	2714	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	9 Ferro-ligas	9.0 Ferro-ligas
2421	2723	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	8 Siderurgia	8.2 Siderurgia - Aço
2422	2724	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	8 Siderurgia	8.2 Siderurgia - Aço
2423	2725	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	8 Siderurgia	8.2 Siderurgia - Aço
2424	2726	5 Siderurgia	25 Fab. de aço e derivados	8 Siderurgia	8.2 Siderurgia - Aço
2431	2731	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	25 Fab. de aço e derivados	17 Outros	17.1 Outros
2439	2739	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	25 Fab. de aço e derivados	17 Outros	17.1 Outros
2441	2741	6 Metalurgia dos não-ferrosos	26 Met. de metais não-ferrosos	11 Não - ferrosos	9.0 Ferro-ligas
2442	2742	6 Metalurgia dos não-ferrosos	26 Met. de metais não-ferrosos	11 Não - ferrosos	11.2 Não-ferrosos - Outros

2443	2749	6 Metalurgia dos não-ferrosos	26 Met. de metais não-ferrosos	11 Não - ferrosos	11.2 Não-ferrosos - Outros
2449	2749	6 Metalurgia dos não-ferrosos	26 Met. de metais não-ferrosos	11 Não - ferrosos	11.2 Não-ferrosos - Outros
2451	2751	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	26 Met. de metais não-ferrosos	17 Outros	17.1 Outros
2452	2752	6 Metalurgia dos não-ferrosos	26 Met. de metais não-ferrosos	17 Outros	17.1 Outros
2511	2811	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2512	2812	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2513	2813	8 Fab. e manutenção de máquinas e	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2521	2821	8 Fab. e manutenção de máquinas e	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2522	2822	8 Fab. e manutenção de máquinas e	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2531	2832	6 Metalurgia dos não-ferrosos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2532	2833	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2539	2839	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2541	2841	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2542	2842	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2543	2843	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2550	2971	8 Fab. e manutenção de máquinas e	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2591	2891	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2592	2892	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2593	2893	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2599	2899	7 Fab. de outros prod. metalúrgicos	27 Prod. de metal - excl. máq.e	17 Outros	17.1 Outros
2610	3210	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2621	3021	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2622	3022	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2631	3221	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2632	3222	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2640	3230	11 Fabricação de apar. e equip.	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2651	3320	32 Indústrias diversas	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2652	3350	32 Indústrias diversas	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2660	3310	32 Indústrias diversas	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2670	3340	32 Indústrias diversas	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	17 Outros	17.1 Outros
2680	2496	19 Fab. de produtos químicos diversos	30 Máq. p/ escrit. ap. e mat. elet.	12 Química	17.1 Outros
2710	3112	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletrônico	17 Outros	17.1 Outros
2721	3141	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletrônico	17 Outros	17.1 Outros
2722	3142	13 Fab. de outros veículos, peças e	29 Eletrod. e material eletrônico	17 Outros	17.1 Outros

2731	3121	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2732	3122	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2733	3130	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2740	3151	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2751	2981	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2759	2989	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2790	3199	10 Fab. de aparelhos e equipamentos	29 Eletrod. e material eletronico	17 Outros	17.1 Outros
2811	2911	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2812	2912	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2813	2913	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2814	2914	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2815	2915	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2821	2921	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2822	2923	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2823	2924	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2824	2925	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2829	2929	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2831	2932	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2832	2931	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2833	2931	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2840	2940	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2851	2951	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2852	2952	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2853	2953	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2854	2954	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2861	2961	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2863	2963	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2864	2964	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2865	2965	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2866	2969	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2869	2969	8 Fab. e manutenção de máquinas e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2910	3410	12 Fab. de automóveis, caminhões e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2920	3420	12 Fab. de automóveis, caminhões e	28 Máq. e equip. incl. manut. e	17 Outros	17.1 Outros
2930	3439	12 Fab. de automóveis, caminhões e	31 Autom. caminhões e ônibus	17 Outros	17.1 Outros

2941	3441	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2942	3442	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2943	3443	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2944	3444	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2945	3160	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2949	3449	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
2950	3450	13	Fab. de outros veículos, peças e	32	Peças e aces. p/ veículos	17	Outros	17.1	Outros
3011	3511	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3012	3512	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3031	3521	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3032	3522	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3041	3531	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3042	3531	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3050	2972	8	Fab. e manutenção de máquinas e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3091	3591	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3092	3592	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3099	3599	13	Fab. de outros veículos, peças e	33	Outros equip. de transporte	17	Outros	17.1	Outros
3101	3612	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3102	3612	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3103	3613	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3104	3614	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3211	3691	32	Indústrias diversas	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3212	3699	32	Indústrias diversas	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3220	3692	32	Indústrias diversas	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3230	3693	32	Indústrias diversas	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3240	3694	32	Indústrias diversas	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3250	2454	20	Fab. de produtos farmacêuticos e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	12	Química	17.1	Outros
3291	3697	32	Indústrias diversas	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3292	1822	23	Fabricação de artigos do vestuário e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	14	Têxtil	17.1	Outros
3299	3699	32	Indústrias diversas	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3311	2971	8	Fab. e manutenção de máquinas e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3312	3394	32	Indústrias diversas	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3313	3189	32	Indústrias diversas	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3314	2991	32	Indústrias diversas	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros

3315	3523	13	Fab. de outros veículos, peças e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3316	3532	13	Fab. de outros veículos, peças e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3317	3512	13	Fab. de outros veículos, peças e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3319	2023	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros
3319	2891	7	Fab. de outros prod. Metalúrgicos	27	Prod. de metal - excl. máq.e	17	Outros	17.1	Outros
3321	2969	8	Fab. e manutenção de máquinas e	28	Máq. e equip. incl. Manut. e	17	Outros	17.1	Outros
3329	3611	14	Serrarias e fabricação de artigos	34	Móveis e prod. das ind. div.	17	Outros	17.1	Outros

Fonte : Elaboração própria

Note que apresentamos nesta tabela apenas os códigos referente a CNAE 1 e CNAE 2 e não sua descrição, que podem ser encontrados na Concla do IBGE.

Anexo C - Metodologia de desagregação dos dados: Formação de VAs - Valores Agregados

A metodologia desenvolvida foi dividida em cinco passos:

Para os anos de 1996 a 2007 fazemos

- 1- Encontra-se a correspondência SCN43 para cada setor da PIA empresa (SCN43 x CNAE1). A PIA-empresa classes, de 1996 a 2007, é apresentada conforme a classificação CNAE1. Trabalha-se com o VTI - Valor da transformação industrial, caso necessário a mesma metodologia pode ser aplicada para se obter os valores de VBP- Valor Bruto da Produção, COI – Custo das operações industriais
- 2- Soma-se todos os valores correspondentes ao setor “X” SCN, para VTI; Ou seja, coloca-se a PIA empresa agregada no formato da TRU.
- 3- Busca-se na série histórica da TRU de 1996 a 2007, os valores reais da TRU para VTI. Assume-se a hipótese de que a variável da PIA VTI – Valor da Transformação Industrial é semelhantes a variável da TRU VA- Valor Agregado. Para alguns anos a PIA disponibiliza o próprio VA, mas são disponíveis para poucos anos.
- 4- Divide-se o universo pela amostra (TRU/ PIA empresa). Ou seja, responde-se quantas vezes o universo (TRU) é maior que a amostra (PIA empresa). Vale ressaltar que em alguns casos a PIA empresa é maior que a TRU.
- 5- Na PIA empresa classes, multiplica-se cada setor pelo percentual encontrado, ou seja, transforma-se a amostra ao tamanho do Universo.
Obtém-se uma planilha com VTI~VA, no formato CNAE 1, mas referente ao universo da TRU.

Vale ressaltar que a PIA empresa só trata dos setores de transformação. Os setores 1 – agropecuária e os setores de 32 a 42 – que são relativos a serviços, da TRU, não foram abordados.

Para os anos de 2007 a 2014, procede-se de forma semelhante, salvo algumas pequenas diferenças. São elas:

No passo 1: Encontra-se a correspondência SCN para cada setor da PIA empresa (SCN 43 x CNAE2) para os anos de 2008 a 2011, e (SCN51 x CNAE2) para os anos de 2012 a 2014. A PIA empresa classes, de 2008 a 2014, é apresentada conforme a classificação CNAE2. Trabalha-se com o VTI - Valor da transformação industrial.

No passo 3, busca-se na série histórica da TRU de 2008 a 2014, os valores reais da TRU para VTI. Seguindo-se os demais passos obtém-se uma planilha com VTI equivalente, por hipótese, a VA , no formato CNAE 2, mas referente ao universo da TRU. Para trabalhar com a agregação desejada, basta-se somar todas as linhas do setor “X” da agregação escolhida, para todas as variáveis, ano a ano.

**Anexo D - Valores agregados dos setores Eficind, de
2000 a 2013**

Tabela D1: Valores agregados dos setores Eficind, de 2000 a 2006, em milhões de R\$ de 2016.

EFICIND		2.000	2.001	2.002	2.003	2.004	2.005	2.006
1	Energético	77.814	86.817	94.796	142.893	127.987	161.945	175.604
1,1	Energia primária	37.381	46.258	58.419	64.304	71.055	99.044	119.156
1,2	Energia secundária	40.433	40.559	36.377	78.589	56.933	62.901	56.448
2	Residencial	-	-	-	-	-	-	-
3	Comercial	1.784.226	1.766.639	1.799.342	1.801.274	1.856.188	1.955.146	2.075.941
4	Público	578.918	608.824	630.331	621.789	635.882	672.701	712.186
5	Agropecuário	203.763	208.796	245.388	279.551	271.595	230.117	224.773
6	Transportes	135.485	134.490	140.529	131.574	140.814	146.507	150.775
7	Cimento	7.705	9.344	8.552	12.245	8.409	5.470	8.586
8	Siderurgia	7.097	7.665	12.833	20.747	40.370	41.657	31.673
8,1	Ferro gusa	343	397	840	1.240	3.252	2.687	1.821
8,2	Aço	6.754	7.268	11.993	19.507	37.118	38.970	29.852
9	Ferro ligas	2.640	2.919	4.257	1.467	3.252	2.906	2.276
10	Mineração e pelotização	13.511	13.823	19.070	20.987	28.922	33.210	34.572
11	Metais não ferrosos	9.648	7.718	12.499	12.921	6.506	8.452	14.232
11,1	Alumínio	6.654	5.249	7.878	8.488	4.107	5.584	8.893
11,2	Outros	2.994	2.469	4.621	4.433	2.400	2.867	5.339
12	Química	47.623	40.146	41.341	55.349	81.366	65.260	61.138
12,1	Cloro e álcalis	916	949	707	612	950	1.005	1.520
12,2	Petroquímicos básicos	4.146	3.057	3.736	6.251	11.215	12.605	8.330
12,3	Resinas termoplásticas	4.504	3.943	1.915	3.776	7.449	5.917	9.047
12,4	Fertilizantes	4.611	5.008	5.774	10.905	13.255	7.950	5.890
12,5	Outros	33.447	27.189	29.209	33.805	48.497	37.782	36.352
13	Alimentos e bebidas	61.756	64.483	49.857	65.283	78.670	97.544	100.748
13,1	Açúcares	7.605	9.209	7.270	8.507	9.876	13.097	17.131
13,2	Laticínios	6.160	4.836	5.304	3.989	4.496	10.034	9.760
13,3	Carnes	10.427	12.203	9.772	14.583	18.566	21.879	22.180
13,4	Sucos	1.291	1.061	1.111	1.391	1.266	1.447	2.017
13,5	Cervejas	7.147	8.561	4.473	4.686	6.467	8.552	9.070
13,6	Outros	29.125	28.614	21.927	32.127	37.999	42.535	40.590
14	Têxtil	23.101	24.033	25.148	24.256	22.435	17.596	19.804
14,1	Fiação	3.974	4.032	4.196	3.736	3.972	2.624	2.980
14,2	Tecelagem	19.127	20.000	20.952	20.520	18.463	14.973	16.824
14,3	Confecção	31.357	30.078	24.706	21.457	23.258	25.061	26.398
15	Papel e celulose	25.609	22.066	21.325	27.963	27.342	21.945	20.096
15,1	Celulose	6.975	5.252	5.274	6.686	4.907	3.772	3.074
15,2	Papel	7.619	8.627	8.920	9.916	11.913	8.450	7.858
15,3	Embalagens	11.014	8.187	7.131	11.362	10.522	9.724	9.164
16	Cerâmica	4.471	3.947	3.697	5.259	4.878	4.579	6.391
16,1	Cerâmica vermelha	2.636	2.380	2.182	3.040	2.787	2.603	3.610
16,2	Sanitária	909	688	602	805	752	713	1.249
16,3	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-
16,4	Outros de cerâmica	926	879	912	1.414	1.339	1.263	1.533
17	Outros	674.489	671.558	690.099	635.536	711.858	710.310	709.475
17,1	Outros de outros	301.941	316.311	313.210	329.501	370.448	375.801	377.908
17,2	SIUP	115.779	123.275	130.101	126.935	140.476	141.743	141.359
17,3	Construção civil	256.769	231.973	246.787	179.099	200.935	192.766	190.208
Indústria Transformação		935.940	924.507	930.697	961.074	1.065.280	1.063.683	1.057.261
Indústria		986.836	984.587	1.008.186	1.046.365	1.165.257	1.195.937	1.210.987
PIB pb		3.654.605	3.697.356	3.832.547	3.880.280	4.080.204	4.199.119	4.342.921
PIB		4.289.355	4.348.974	4.481.753	4.532.890	4.793.987	4.947.496	5.143.503

Fonte : Elaboração própria

Tabela D2: Valores agregados dos setores da classificação Eficind, de 2007 a 2013, em milhões de R\$ de 2016.

EFICIND		2.007	2.008	2.009	2.010	2.011	2.012	2.013
1	Energético	162.643	172.485	144.325	134.965	136.510	137.014	128.751
1,1	Energia primária	100.239	134.078	70.278	100.581	144.560	168.343	156.513
1,2	Energia secundária	62.404	38.407	74.047	34.384	- 8.050	- 31.329	- 27.762
2	Residencial	-	-	-	-	-	-	-
3	Comercial	2.220.791	2.263.707	2.361.924	2.470.781	2.564.782	2.689.836	2.794.728
4	Público	756.326	800.592	837.012	852.269	874.907	883.765	940.683
5	Agropecuário	240.975	261.904	256.360	253.428	277.988	271.993	302.922
6	Transportes	172.264	192.694	187.963	224.475	242.195	248.098	256.443
7	Cimento	6.478	8.074	9.764	9.821	10.068	10.628	10.110
8	Siderurgia	38.403	48.684	20.528	21.890	23.619	23.941	24.718
8,1	Ferro gusa	2.252	3.276	667	894	1.128	1.292	1.009
8,2	Aço	36.151	45.407	19.861	20.996	22.491	22.649	23.709
9	Ferro ligas	4.059	5.850	2.694	2.862	3.562	4.143	3.274
10	Mineração e pelotização	37.318	50.826	37.452	73.670	93.053	82.814	81.395
11	Metais não ferrosos	13.810	9.587	7.020	9.435	9.273	7.316	9.602
11,1	Alumínio	8.788	5.826	3.713	4.380	4.926	3.353	4.680
11,2	Outros	5.022	3.761	3.307	5.055	4.348	3.963	4.923
12	Química	63.970	71.146	55.489	48.823	47.605	40.930	46.127
12,1	Cloro e álcalis	913	2.240	725	349	309	533	403
12,2	Petroquímicos básicos	3.801	3.192	5.855	4.573	4.501	3.831	4.560
12,3	Resinas termoplásticas	11.313	9.130	2.136	3.502	3.531	2.273	2.413
12,4	Fertilizantes	11.905	16.835	6.087	4.196	4.490	3.980	4.963
12,5	Outros	36.038	39.749	40.686	36.203	34.773	30.313	33.788
13	Alimentos e bebidas	98.207	105.299	102.707	119.007	130.512	134.767	130.345
13,1	Açúcares	9.392	10.345	15.550	20.506	24.027	24.006	19.221
13,2	Laticínios	11.654	11.752	6.828	7.736	7.939	8.648	9.348
13,3	Carnes	23.279	26.587	21.871	26.090	28.821	29.036	30.873
13,4	Sucos	2.840	2.163	1.718	2.223	2.345	3.198	2.857
13,5	Cervejas	10.066	9.729	10.293	11.249	11.972	10.444	10.061
13,6	Outros	40.976	44.723	46.447	51.202	55.408	59.435	57.985
14	Têxtil	17.471	15.747	15.769	19.048	19.094	20.062	17.945
14,1	Fiação	2.523	2.089	2.039	2.928	2.564	2.595	2.074
14,2	Tecelagem	14.948	13.658	13.729	16.120	16.529	17.467	15.872
14,3	Confecção	32.370	32.276	33.604	33.208	35.950	31.943	30.620
15	Papel e celulose	24.111	20.571	16.653	24.298	24.666	20.956	21.787
15,1	Celulose	4.679	3.911	3.725	5.274	5.044	4.266	4.125
15,2	Papel	8.576	7.253	4.711	6.861	7.184	6.645	6.908
15,3	Embalagens	10.856	9.407	8.218	12.163	12.438	10.045	10.753
16	Cerâmica	5.690	6.250	6.740	7.844	7.963	7.534	7.817
16,1	Cerâmica vermelha	3.496	4.040	4.572	5.449	5.705	5.429	5.696
16,2	Sanitária	870	894	984	1.089	1.097	1.071	1.017
16,3	Revestimento	-	-	-	-	-	-	-
16,4	Outros de cerâmica	1.324	1.316	1.184	1.306	1.160	1.034	1.104
17	Outros	757.124	776.833	800.111	927.860	936.975	921.052	914.327
17,1	Outros de outros	405.244	438.248	402.822	452.731	450.173	425.746	429.783
17,2	SIUP	139.546	126.921	131.632	147.232	145.148	135.842	117.011
17,3	Construção civil	212.333	211.664	265.656	327.897	341.654	359.465	367.532
Indústria Transformação		1.124.097	1.138.725	1.145.129	1.258.479	1.241.231	1.191.937	1.188.912
Indústria		1.261.654	1.323.629	1.252.861	1.432.729	1.478.844	1.443.095	1.426.820
PIB pb		4.588.490	4.757.661	4.800.963	5.113.792	5.165.348	5.048.430	5.173.108
PIB		5.455.715	5.733.648	5.726.423	6.157.515	6.402.254	6.525.242	6.721.325

Fonte : Elaboração própria

Anexo E - Série histórica das matrizes de contabilidade social - SAM

Apresenta-se abaixo as séries das SAMs de 2003 a 2014, com suas componentes representadas por participação no PIB. Apresenta-se também a variação anual do PIB, para facilitar possíveis análises.

Tabela E1: SAM 2003

2003	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		160,94%						14,99%	
P	89,42%				61,93%		19,39%		15,77%
L	39,52%							0,05%	
K	45,92%							0,64%	
HH			39,54%	25,96%		0,32%	8,50%	0,56%	
ENT				16,69%			2,84%		
GOV	1,07%	13,49%			7,23%	5,42%			
ROW		12,08%	0,03%	3,90%		0,04%	0,01%		
CAP					5,72%	13,76%	-3,53%	-0,18%	

Fonte : Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 1,14%.

Tabela E2: SAM 2004

2004	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		160,22%						16,43%	
P	90,83%				59,78%		19,23%		17,12%
L	39,31%							0,05%	
K	45,32%							0,50%	
HH			39,34%	23,73%		0,27%	7,90%	0,54%	
ENT				18,55%			1,70%		
GOV	1,19%	14,18%			6,63%	5,46%			
ROW		12,55%	0,03%	3,54%		0,03%	0,01%		
CAP					5,37%	14,49%	-1,39%	-1,36%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 5,76%.

Tabela E3: SAM 2005

2005	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		161,05%						15,13%	
P	90,38%				60,27%		19,91%		16,21%
L	40,09%							0,04%	
K	44,52%							0,39%	
HH			40,12%	23,28%		0,27%	8,38%	0,46%	
ENT				18,35%			1,87%		
GOV	1,18%	14,20%			7,58%	5,95%			
ROW		11,52%	0,01%	3,28%		0,04%	0,02%		
CAP					4,65%	13,96%	-1,26%	-1,14%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 3,20%.

Tabela E4: SAM 2006

2006	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		159,43%						14,37%	
P	87,94%				60,30%		20,04%		16,76%
L	40,91%							0,04%	
K	43,80%							0,61%	
HH			40,93%	22,57%		0,24%	8,92%	0,44%	
ENT				18,74%			2,93%		
GOV	1,14%	14,14%			7,95%	5,86%			
ROW		11,47%	0,02%	3,10%		0,04%	0,01%		
CAP					4,85%	15,54%	-2,80%	-0,83%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 3,96%

Tabela E5: SAM 2007

2007	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		160,38%						13,36%	
P	87,78%				59,90%		20,26%		18,33%
L	41,33%							0,04%	
K	43,42%							0,87%	
HH			41,36%	22,01%		0,23%	8,02%	0,36%	
ENT				19,32%			3,66%		
GOV	1,21%	14,03%			7,40%	6,38%			
ROW		11,84%	0,00%	2,96%		0,06%	0,01%		
CAP					4,68%	16,31%	-2,91%	0,25%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 6,07%.

Tabela E6: SAM 2008

2008	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		161,43%						13,66%	
P	89,99%				58,94%		20,19%		20,69%
L	41,81%							0,05%	
K	41,97%							0,78%	
HH			41,85%	20,68%		0,24%	7,66%	0,33%	
ENT				18,90%			1,98%		
GOV	1,32%	14,90%			7,19%	5,68%			
ROW		13,47%	0,01%	3,18%		0,06%	0,01%		
CAP					4,63%	14,89%	-0,74%	1,92%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 5,09%

Tabela E7: SAM 2009

2009	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		158,21%						10,98%	
P	82,93%				61,11%		21,21%		17,84%
L	43,62%							0,04%	
K	41,25%							0,56%	
HH			43,66%	20,53%		0,24%	7,96%	0,29%	
ENT				18,71%			0,24%		
GOV	1,39%	13,74%			6,87%	5,31%			
ROW		11,14%	0,00%	2,58%		0,07%	0,02%		
CAP					4,69%	13,34%	-2,12%	1,93%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: - 0,126%.

Tabela E8: SAM 2010

2010	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		159,09%						10,74%	
P	84,83%				60,22%		19,02%		21,80%
L	41,64%							0,03%	
K	42,25%							0,72%	
HH			41,67%	23,83%		0,26%	7,00%	0,22%	
ENT				15,46%			0,84%		
GOV	1,10%	15,00%			6,21%	4,78%			
ROW		11,78%	0,00%	3,68%		0,07%	0,03%		
CAP					6,53%	11,20%	0,22%	3,86%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 7,53%.

Tabela E9: SAM 2011

2011	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		158,53%						11,47%	
P	85,00%				60,27%		18,69%		21,81%
L	42,23%							0,03%	
K	41,72%							0,79%	
HH			42,25%	23,58%		0,30%	6,66%	0,19%	
ENT				15,51%			1,65%		
GOV	1,06%	15,00%			6,26%	5,13%			
ROW		12,24%	0,00%	3,42%		0,06%	0,03%		
CAP					6,45%	11,68%	0,42%	3,27%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 3,97%.

Tabela E10: SAM 2012

2012	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		159,21%						11,72%	
P	85,92%				61,38%		18,57%		21,41%
L	42,84%							0,02%	
K	41,12%							0,27%	
HH			42,86%	24,01%		0,33%	7,12%	0,19%	
ENT				14,96%			0,54%		
GOV	1,05%	14,99%			6,22%	4,66%			
ROW		13,09%	0,00%	2,42%		0,06%	0,03%		
CAP					6,92%	10,45%	0,65%	3,39%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 1,92%.

Tabela E11: SAM 2013

2013	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
	De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		159,32%						11,66%	
P	85,62%				61,62%		18,96%		21,73%
L	43,40%							0,02%	
K	40,85%							0,41%	
HH			43,42%	23,52%		0,35%	6,89%	0,24%	
ENT				16,11%			0,78%		
GOV	1,12%	14,63%			5,84%	4,69%			
ROW		13,97%	0,00%	1,64%		0,07%	0,03%		
CAP					6,96%	11,77%	-0,38%	3,38%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 3,00%.

Tabela E12: SAM 2014

2014	Produção		Valor adicionado		Conta corrente dos agentes				Conta capital agregada
De	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
Para	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		160,08%						11,01%	
P	85,05%				62,96%		19,15%		20,55%
L	43,53%							0,02%	
K	41,55%							0,44%	
HH			43,54%	24,17%		0,35%	7,73%	0,21%	
ENT				15,39%			1,51%		
GOV	0,97%	13,95%			6,17%	4,52%			
ROW		13,67%	0,01%	2,43%		0,08%	0,03%		
CAP					6,86%	11,95%	-2,80%	4,54%	

Fonte: Elaboração própria. Variação do PIB em relação ao ano anterior: 0,50%.

Anexo F - Tabela de construção da SAM com suas origens da TRU e da CEI.

De Para	Produção		Valor adicionado		Conta-corrente dos agentes				Conta capital agregada
	Atividades	Produtos	Trabalho	Capital	Famílias	Empresas	Governo	Exterior	
	A	P	L	K	HH	ENT	GOV	ROW	CAP
A		Vendas domésticas (Produção das ativ. menos a export. de bens e serviços)						Exportação de bens e serviços	
P	Consumo intermediário				Consumo final das famílias e das IFSFL		Consumo da administração pública		Investimentos (FBCF mais var. de estoques)
L	Remunerações (salários e contribuições) EOB e							Remuneração dos empregados pagos pelo ROW	
K	Rendimento misto							Renda das propriedades pagas pelo ROW	
HH			Remuneração dos empregados recebido pelas famílias	EOB e Rendimento misto bruto, mais Renda da propriedade das famílias e das IFSFL		Transferência das empresas para as famílias (indenização de seguros)	Transf. do governo para as famílias (Renda disponível bruta das famílias, e transf. correntes diversas das famílias e das IFSFL)	Outras transações correntes pagas pelo ROW	
ENT				EOB e rendimento misto bruto, mais Renda da propriedade das empresas financ., não financ. e da adm. Pública			Variável de ajuste		
GOV	Outros impostos sobre a produção e outros subsídios à produção	Impostos sobre a oferta de bens e serviços			Transferência das famílias para o governo (IRPF e contribuições sociais)	Imposto corrente sobre renda e patrimônio do governo, das empresas financ. e não financ.			
ROW		Importação de bens e serviços e ajuste CIF/FOB	Remuneração dos empregados recebido pelo ROW	Renda das propriedades recebidas pelo ROW		Transferências correntes diversas recebidas pelo ROW	Renda do Governo para o ROW (Transf. correntes menos outras transf. diversas recebidos pelo ROW)		
CAP					Poupança bruta das famílias e pelas IFSFL	Poupança bruta das empresas financeiras e não financeiras	Poupança bruta da administração pública	Saldo externo corrente do ROW	

Legenda:

	Originadas da Tabela de usos de bens e serviços
	Originadas da Tabela de recursos de bens e serviços
	Originadas da CEI conta de recursos
	Originadas da CEI conta de usos

Anexo G - Resultados do MEG

	Cenário BB		Cenário BA	
	Varição do PIB	2.56%	Varição do PIB	3.07%
Maior crescimento	COMERCIAL	2.76%	INDUSTRIAL	3.29%
Menor crescimento	AGROPECUARIO	1.85%	PUBLICO	2.58%

Cenário tendencial - BB			
BB-Set. com maiores cresc.:		BB-Set. com menores cresc.	
36_COMUNIC	3.12%	06_METAL_N_F	0.72%
33_CONSTR_CI	3.09%	23_FAB_CALCA	0.73%
34_COMERCIO	3.07%	26_ABATE_ANI	1.01%
39_SERV_EMPR	3.06%	02_EXTR_MINE	1.08%

Resultado MEG - valor agregado	2009	BB					BA					AB					AA				
		2016	2021	2026	2030	Var. a.a.	2016	2021	2026	2030	Var. a.a.	2016	2021	2026	2030	Var. a.a.	2016	2021	2026	2030	Var. a.a.
PIB	5726424	6266856	6803615	7524195	8155296	2.56%	6266856	6803615	7524195	8155296	2.56%	6267181	6731364	7765674	8740334	3.07%	6267181	6731364	7765674	8740334	3.07%
PIBpb	4939735	5345567	5770564	6343438	6875501	2.39%	5345567	5770893	6344457	6876862	2.39%	5345845	5786835	6676013	7513911	3.04%	5345845	5788211	6680563	7523980	3.05%
RESIDENCIAL	3499685	3748301	4079959	4528439	4908267	2.45%	3748301	4080848	4531400	4914543	2.45%	3748495	4018122	4635528	5217327	2.89%	3748495	4020037	4641791	5230263	2.91%
COMERCIAL	2292388	2578019	2799267	3097868	3357705	2.76%	2578019	2796221	3088690	3338342	2.72%	2578153	2706551	3122427	3514319	3.10%	2578153	2705034	3117475	3504145	3.08%
PUBLICO	806842	824846	893390	985142	1067772	2.02%	824846	893408	985181	1067741	2.02%	824889	888203	1024680	1153286	2.58%	824889	888176	1024590	1153023	2.58%
AGROPECUARIO	277945	283515	303301	331307	359095	1.85%	283515	304222	333758	364442	1.95%	283530	314679	363031	408595	2.79%	283530	315799	366595	415180	2.91%
TRANSPORTES	237287	265642	282523	303892	329381	2.37%	265642	282393	303354	327702	2.33%	265656	271020	312664	351906	2.85%	265656	271258	313417	353526	2.89%
INDUSTRIAL	1325273	1393545	1492082	1625229	1761547	2.05%	1393545	1494649	1633474	1778636	2.12%	1393617	1606382	1853211	2085805	3.29%	1393617	1607944	1858485	2098106	3.34%
TRANSFORMACA	822466	832677	891350	971787	1053297	1.78%	832677	893947	979880	1069720	1.90%	832720	987772	1139549	1282572	3.22%	832720	989866	1146314	1296467	3.30%
01 AGROPEC	277945	283515	303301	331307	359095	1.85%	283515	304222	333758	364442	1.95%	283530	314679	363031	408595	2.79%	283530	315799	366595	415180	2.91%
02 EXTR_MINE	37550	35039	37231	40278	43656	1.08%	35039	37698	41847	46820	1.59%	35041	39989	46134	51924	2.34%	35041	40531	47999	56085	2.91%
03 EXTR_PETR	52719	50098	54030	58506	63414	1.33%	50098	53782	57818	62302	1.20%	50100	53097	61256	68944	1.94%	50100	52454	59267	65720	1.59%
04 MIN_N_MET	33670	37022	39778	43462	47107	2.43%	37022	39792	43509	47194	2.44%	37024	40993	47292	53227	3.33%	37024	40972	47221	56376	3.75%
05 SIDERURGI	39726	38112	40545	43866	47545	1.29%	38112	40616	44079	48287	1.40%	38114	46884	54088	60876	3.10%	38114	46777	53699	61706	3.20%
06 METAL_N_F	10744	9941	10339	10963	11883	0.72%	9941	10652	11891	13717	1.76%	9941	12192	14065	15830	2.81%	9941	12562	15309	18283	3.87%
07 OUTR_META	55749	58411	62599	68248	73972	2.04%	58411	62699	68550	74590	2.10%	58414	67411	77769	87530	3.27%	58414	67403	77722	87370	3.26%
08 MAQ_TRATO	47177	49408	53313	58553	63464	2.14%	49408	53346	58662	63683	2.17%	49411	59228	68329	76905	3.55%	49411	59282	68398	76181	3.48%
09 MAT_ELETR	30840	30935	33313	36555	39621	1.81%	30935	33320	36580	39667	1.81%	30937	39771	45882	51641	3.75%	30937	39525	45039	49504	3.44%
10_EQ_ELETR	29654	32453	34941	38309	41522	2.43%	32453	34948	38327	41546	2.44%	32455	37578	43353	48794	3.62%	32455	37186	42073	46384	3.25%
11_AUT_CAM_O	24570	24768	26804	29581	32062	1.92%	24768	26814	29614	32128	1.93%	24770	33525	38676	43530	4.17%	24770	33266	37785	41063	3.74%
12_O_VEIC_PE	48037	47437	49144	51835	56182	1.13%	47437	49310	52289	56991	1.23%	47439	64686	74626	83992	4.07%	47439	64266	73180	80147	3.72%
13_MAD_MOB	35127	35988	38700	42373	45927	1.93%	35988	38724	42445	46056	1.95%	35989	39655	45748	51489	2.77%	35989	39683	45831	51677	2.80%
14_PAPEL_GRA	58565	57446	62058	68266	73992	1.68%	57446	62102	68392	74192	1.70%	57449	62814	72465	81560	2.39%	57449	65316	80239	95369	3.54%
15_IND_BORR	10377	9842	10546	11502	12467	1.32%	9842	10555	11529	12516	1.35%	9842	13537	15617	17578	3.84%	9842	13382	15105	16547	3.39%
16_ELEM_QUIM	29763	29577	31621	34526	37422	1.65%	29577	32252	37091	42830	2.63%	29579	33104	38191	42984	2.66%	29579	34022	41512	49541	3.71%
17_REFIN_PET	66453	68454	72770	78520	85106	1.78%	68454	72733	78406	84877	1.76%	68458	76902	88719	99854	2.95%	68458	76888	88673	99837	2.95%
18_QUIM_DIVE	20925	21965	23445	25461	27596	2.00%	21965	23476	25566	27805	2.05%	21967	24925	28755	32364	3.16%	21967	24954	28847	32514	3.20%
19_FARM_PERF	48947	50127	53746	58701	63624	1.89%	50127	53786	58826	63862	1.92%	50130	55610	64154	72206	2.82%	50130	55653	64292	72481	2.84%
20_ART_PLAST	23797	24497	26413	29024	31458	2.01%	24497	26431	29076	31559	2.04%	24498	29378	33892	38145	3.43%	24498	29343	33780	37737	3.35%
21_IND_TEXTI	27115	27550	29666	32542	35271	1.90%	27550	29706	32664	35497	1.94%	27552	31554	36403	40971	2.99%	27552	31491	36292	40918	2.98%
22_ART_VEST	31354	32552	35151	38707	41954	2.10%	32552	35181	38799	42127	2.13%	32553	36341	41925	47187	2.96%	32553	35998	41177	46424	2.84%
23_FAB_CALCA	14948	12797	13837	15269	16549	0.73%	12797	13844	15294	16600	0.75%	12798	33857	39059	43961	8.01%	12798	33033	36350	38305	6.95%
24_IND_CAFE	2300	2233	2379	2629	2850	1.54%	2233	2381	2636	2863	1.58%	2233	2517	2904	3268	2.54%	2233	2526	2930	3314	2.64%
25_BNF_PR_VE	22993	22398	23779	25751	27911	1.39%	22398	23857	25944	28307	1.50%	22399	25289	29174	32836	2.58%	22399	25365	29407	33265	2.67%
26_ABATE_ANI	24941	23178	24564	26495	28717	1.01%	23178	24713	26699	29284	1.15%	23179	25865	29839	33584	2.15%	23179	25988	30216	34276	2.30%
27_IND_LATIC	10198	10380	11189	12308	13340	1.94%	10380	11208	12360	13447	1.99%	10381	11364	13110	14755	2.67%	10381	11386	13179	14886	2.74%
28_IND_ACUCA	18179	17604	18818	20566	22291	1.47%	17604	19554	22712	26316	2.68%	17605	19554	22558	25389	2.41%	17605	20297	24914	29886	3.61%
29_FAB_OLEO	3820	3665	3941	4326	4688	1.47%	3665	3953	4365	4766	1.59%	3665	4073	4699	5289	2.35%	3665	4110	4810	5485	2.62%
30_O_PRD_ALI	39855	40863	43927	48116	52152	1.94%	40863	43954	48207	52329	1.96%	40865	44674	51539	58007	2.72%	40865	44692	51584	58105	2.73%
31_IND_DIVER	12639	13074	14027	15335	16621	1.98%	13074	14039	15370	16686	2.00%	13075	14491	16718	18816	2.88%	13075	14501	16749	18886	2.91%
32_SIUP	153063	162045	173064	188002	203771	2.06%	162045	172754	187123	202269	2.01%	162054	181397	209270	235535	3.13%	162054	181066	208251	233872	3.07%
33_CONSTR_CI	259474	313685	336406	366656	397410	3.09%	313685	336469	366806	397525	3.09%	313702	344126	397002	446830	3.96%	313702	344027	396654	445962	3.94%
34_COMERCIO	617049	728202	791111	869136	942036	3.07%	728202	789837	865114	933272	3.00%	728240	738310	851755	958658	3.20%	728240	738383	851947	958609	3.20%
35_TRANSPORT	237287	265642	282523	303892	329381	2.37%	265642	282393	303354	327702	2.33%	265656	271020	312664	351906	2.85%	265656	271258	313417	353526	2.89%
36_COMUNIC	176316	192494	214790	250033	271005	3.12%	192494	213747	246715	264580	2.94%	192504	207771	239697	269781	3.08%	192504	207650	239295	268904	3.06%
37_INST_FINA	357465	380455	416388	469402	508774	2.55%	380455	416040	468244	506720	2.52%	380475	419488	483945	544684	3.05%	380475	419760	484803	546158	3.07%
38_SERV_FAMI	366620	398978	428030	466440	505563	2.32%	398978	427898	466606	505797	2.33%	398999	420051	484594	545415	2.88%	398999	419878	484019	544928	2.87%
39_SERV_EMPR	252014	301199	325426	354701	384452	3.06%	301199	325274	354102	382766	3.03%	301215	3038								

Anexo H – Cálculo de elasticidades constantes de substituição e de elasticidades preço de demanda para modelos de equilíbrio geral

H.1 – Cálculo das elasticidades constantes de substituição

Dada uma série de dados de valores de trabalho e capital, o valor adicionado é dado pela função elasticidade constante de substituição (CES), introduzida por Arrow et al. (1961):

$$VA = \beta \cdot (\alpha_L \cdot L^\rho + \alpha_K \cdot K^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \quad (H.1)$$

onde VA é o valor adicionado, L e K são os fatores trabalho e capital, β é um parâmetro de eficiência, α_L e α_K são parâmetros de produtividade e ρ um parâmetro de substituição, cuja relação com a elasticidade constante de substituição σ é dada por $\sigma = 1 / (1 - \rho)$.

Fazendo $\theta_L = (\beta \cdot \alpha_L)^{\frac{1}{\rho}}$ e $\theta_K = (\beta \cdot \alpha_K)^{\frac{1}{\rho}}$, Sancho (2009) reescreve a equação E.1.1 em um formato computacionalmente mais eficiente:

$$VA = ((\theta_L \cdot L)^\rho + (\theta_K \cdot K)^\rho)^{\frac{1}{\rho}} \quad (H.2)$$

com $\theta_L = \left(\frac{VA}{L}\right)^{1/\gamma} = \left(\frac{L+K}{L}\right)^{1/\gamma}$ e $\theta_K = \left(\frac{VA}{K}\right)^{1/\gamma} = \left(\frac{L+K}{K}\right)^{1/\gamma}$, onde $\gamma = \rho / (\rho - 1)$.

Assim, para um determinado ponto i da série de dados de trabalho e capital, tem-se:

$$VA^i = \left((\theta_L^i \cdot L^i)^\rho + (\theta_K^i \cdot K^i)^\rho \right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (H.3)$$

Observe-se que, que passando pelo ponto i , existe um conjunto de superfícies definidas por (E.1.3) cuja forma é dada pelos parâmetros θ_L^i , θ_K^i e ρ . Considerando todos os pontos i da série, postula-se que, a menos de erros amostrais, esses parâmetros sejam todos iguais, e que os valores médios das séries θ_L^i e θ_K^i , respectivamente $\bar{\theta}_L$ e $\bar{\theta}_K$, também possam ser representativos da série.

Assim, substituindo $\bar{\theta}_L$ e $\bar{\theta}_K$ em E.1.3, obtêm-se \overline{VA}^i , o valor de produção no ponto i calculado com os valores médios das séries θ_L^i e θ_K^i :

$$\overline{VA}^i = \left((\overline{\theta}_L \cdot L^i)^\rho + (\overline{\theta}_K \cdot K^i)^\rho \right)^{1/\rho} \quad (H.4)$$

Dessa maneira, o parâmetro de substituição ρ que minimiza a soma das diferenças entre VA^i e \overline{VA}^i pode ser estimado resolvendo-se o problema de minimização:

$$\min_{\rho \neq 0,1} \left(\sum_i (VA^i - \overline{VA}^i)^2 \right)^{1/2} \quad (H.5)$$

Embora as estimativas de elasticidades constantes de substituição obtidas com esse procedimento empírico não tenham a confiabilidade da metodologia estatística, observe-se que ele pode ser aplicado a séries de dados com três ou mais observações. Como pode ser visto na Tabela H.1.1, as elasticidades constantes de substituição obtidas com a aplicação desse procedimento às séries de trabalho e capital dos setores de atividades econômicas da TRU 42x80 apresentaram um valor médio de 0,352, com um mínimo de 0,286 e máximo de 0,408. É apresentado também nessa tabela o quociente médio entre trabalho e capital.

Tabela H.1.1: Elasticidades constantes de substituição entre trabalho e capital dos setores de atividades econômicas da TRU 42x80

Setor	L/K	σ	Setor	L/K	σ	Setor	L/K	σ
01_AGROPEC	0,533	0,318	15_IND_BORR	1,394	0,361	29_FAB_OLEO_VEG	0,704	0,323
02_EXTR_MINER	0,312	0,382	16_ELEM_QUIM	0,505	0,337	30_O_PRD ALIM	1,419	0,375
03_EXTR_PETR_GAS	0,318	0,378	17_REFIN_PETR	0,382	0,337	31_IND_DIVERS	0,607	0,355
04_MIN_N_MET	1,093	0,347	18_QUIM_DIVER	1,380	0,354	32_SIUP	0,287	0,327
05_SIDERURGIA	0,475	0,370	19_FARM_PERF	0,708	0,350	33_CONSTR_CIV	0,457	0,347
06_METAL_N_FERR	0,488	0,393	20_ART_PLAST	2,116	0,359	34_COMERCIO	0,832	0,341
07_OUTR_METAL	0,844	0,369	21_IND_TEXTIL	0,740	0,370	35_TRANSPORTE	0,778	0,373
08_MAQ_TRATOR	1,648	0,332	22_ART_VEST	0,976	0,355	36_COMUNIC	0,509	0,327
09_MAT_ELETR	1,250	0,375	23_FAB_CALCADOS	4,537	0,351	37_INST_FINAN	0,657	0,358
10_EQ_ELETRON	1,284	0,376	24_IND_CAFE	1,505	0,372	38_SERV_FAMILIAS	1,090	0,341
11_AUT_CAM_ON	10,670	0,286	25_BNF_PR_VEG	1,058	0,329	39_SERV_EMPRESAS	1,260	0,376
12_O_VEIC_PEC	2,094	0,332	26_ABATE_ANIM	0,864	0,337	40_ALUG_IMOV	0,031	0,338
13_MAD_MOB	0,696	0,342	27_IND_LATIC	1,544	0,379	41_AD_P UBLICA	7,366	0,408
14_PAPEL_GRAF	0,835	0,363	28_IND_ACUCAR	0,553	0,308	42_S_P_N_MERC	42,003	0,332

Fonte: Elaboração própria

Tabela H.1.1: Elasticidades constantes de substituição entre produtos domésticos e importados

Setor	σ	Setor	σ	Setor	σ	Setor	σ
01_CAFE	0,000	21_F_M_MAQ_EQUIP	1,766	41_FARM_PERF	1,730	61_O_PR ALIM	1,717
02_CANA	0,000	22_TRATORES	1,651	42_ART_PLAST	1,755	62_BEBIDAS	1,732
03_ARROZ	1,713	23_MAT_ELETR	1,709	43_FIOS_NAT	1,756	63_PROD_DIVER	1,717
04_TRIGO	1,758	24_EQ_ELETRON	1,717	44_TECIDO_NAT	1,719	64_SIUP	1,738
05_SOJA	1,720	25_AUT_CAM_ON	1,668	45_FIOS_ART	1,728	65_PROD_CONSTR	1,727
06_ALGODAO	1,681	26_OUTR_VEIC	1,701	46_TECIDO_ART	1,732	66_COMERCIO	1,721
07_MILHO	1,796	27_MAD_MOB	1,711	47_O_PR_TEXT	1,714	67_TRANSPORTES	1,749
08_BOVINOS	1,729	28_PAP_CEL_ART	1,718	48_ART_VEST	1,732	68_COMUNIC	1,730
09_LEITE	0,000	29_DERIV_BORR	1,708	49_COURO_CALC	1,718	69_SEGUROS	1,760
10_AVES	1,717	30_QUIM_N_PETR	1,731	50_PROD_CAFE	1,727	70_SERV_FINAN	1,728
11_O_AGROPEC	1,730	31_ALCOOL	1,725	51_ARROZ_BENF	1,714	71_ALOJ ALIM	1,754
12_MIN_FERRO	1,673	32_GASOLINA	1,714	52_FAR_TRIGO	1,708	72_OUTR_SERV	1,719
13_O_MINERAIS	1,703	33_OLEOS_COMB	1,756	53_O_VEG_BENF	1,754	73_SAUDE_EDUC	0,000
14_PETROL_GAS	1,718	34_O_PR_REFIN	1,751	54_CARNE_BOV	1,735	74_SERV_EMPR	1,718
15_CARVAO_OUT	1,756	35_PETROQ_BAS	1,745	55_CARNE_AVES	1,730	75_ALUG_IMOV	1,716
16_MIN_N_MET	1,725	36_RESINAS	1,789	56_LEITE_BENF	1,720	76_ALUG_IMPUT	0,000
17_SIDER_BAS	1,689	37_GASOALCOOL	0,000	57_O_PR_LATIC	1,781	77_ADM_PUBLIC	0,000
18_LAMIN_ACO	1,691	38_ADUBOS	1,673	58_ACUCAR	1,720	78_SAU_PUBLIC	0,000
19_MET_N_FERR	1,694	39_TINTAS	1,728	59_OL_VEG_BRU	1,736	79_EDU_PUBLIC	0,000
20_OUTR_METAL	1,746	40_O_PR_QUIM	1,742	60_OL_VEG_REF	1,696	80_S_P_N_MERC	1,734

Fonte: Elaboração própria

H.2 – Cálculo de elasticidades preço e renda de demanda usando índices de preços

No Brasil, os dados sobre os setores de atividades econômicas são publicados para cada ano pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, através da Tabela de Recursos e Usos a preços correntes – TRU-pc e da Tabela de Recursos e Usos a preços do ano anterior – TRU-paa.

Sucintamente, a construção dessas tabelas pelo IBGE para um determinado ano se inicia com a coleta de informações em diversas pesquisas (tais como a Pesquisa Industrial Anual – PIA) e a construção de índices de crescimento em volume (variação da quantidade produzida) e índices de preços (variação nos preços). Com esses índices, multiplicando-se a TRU-pc do ano anterior pelos índices de crescimento em volume é obtida a TRU-paa, que por sua vez multiplicada pelos índices de preços, dá origem à TRU-pc. Observe-se que a Tabela de Índices de Preços – TIP pode ser obtida dividindo-se a TRU-pc pela TRU-paa.

Observe-se que, em modelos de equilíbrio geral, o ano base do modelo é construído a partir da TRU-pc assumindo-se que os valores monetários (quantidades vezes preços) que a compõem são quantidades com preços unitários. Nessa mesma linha de raciocínio,

assumindo-se que os valores monetários da TRU-paa são quantidades e os índices de preços da TIP são os preços correspondentes, a partir das series de Tabelas de Recursos e Usos publicadas pelo IBGE obtêm-se as séries de quantidades e preços para todos os insumos e produtos que compõem essas tabelas. Ressalte-se que a TRU-paa não apresenta os componentes do valor adicionado bruto, não sendo possível dessa maneira a obtenção de séries de trabalho e capital.

O modelo de regressão linear aqui utilizado com essas séries de dados é:

$$\ln(Q) = A + \epsilon_p \ln(p) + \epsilon_R \ln(R) + \xi \quad (\text{H.6})$$

onde Q é a quantidade do produto, A é uma constante, ϵ_p é a elasticidade preço da demanda, p é o preço do produto, ϵ_R é a elasticidade renda da demanda, R é um índice de renda e ξ é um erro amostral. Por exemplo, as elasticidades preço de demanda de exportação dos produtos obtidas dessa forma são apresentadas na Tabela E.2.2.

Tabela H.2.2: Elasticidades preço (ϵ_p) de demanda da exportação dos produtos da TRU 42x80

Setor	ϵ	Setor	ϵ	Setor	ϵ	Setor	ϵ
01_CAFE	-0,678	21_F_M_MAQ_EQUIP	-2,436	41_FARM_PERF	-2,003	61_O_PR_ALIM	-1,277
02_CANA	0,000	22_TRATORES	-3,189	42_ART_PLAST	-1,821	62_BEBIDAS	-1,458
03_ARROZ	0,000	23_MAT_ELETR	-2,487	43_FIOS_NAT	-1,235	63_PROD_DIVER	-0,806
04_TRIGO	-0,990	24_EQ_ELETRON	-0,802	44_TECIDO_NAT	-1,594	64_SIUP	0,000
05_SOJA	-0,872	25_AUT_CAM_ON	-2,548	45_FIOS_ART	-2,737	65_PROD_CONSTR	-0,338
06_ALGODAO	-2,795	26_OUTR_VEIC	-0,994	46_TECIDO_ART	-2,832	66_COMERCIO	-1,288
07_MILHO	-1,535	27_MAD_MOB	-1,471	47_O_PR_TEXT	-1,269	67_TRANSPORTES	-2,827
08_BOVINOS	-0,121	28_PAP_CEL_ART	-0,966	48_ART_VEST	-4,533	68_COMUNIC	-1,394
09_LEITE	0,000	29_DERIV_BORR	-1,721	49_COURO_CALC	-0,512	69_SEGUROS	-1,526
10_AVES	-0,694	30_QUIM_N_PETR	-1,199	50_PROD_CAFE	-1,720	70_SERV_FINAN	-1,485
11_O_AGROPEC	-0,783	31_ALCOOL	-1,846	51_ARROZ_BENF	-2,322	71_ALOJ_ALIM	-1,023
12_MIN_FERRO	-2,736	32_GASOLINA	-2,498	52_FAR_TRIGO	-0,804	72_OUTR_SERV	-2,400
13_O_MINERAIS	-1,972	33_OLEOS_COMB	-0,989	53_O_VEG_BENF	-2,096	73_SAUDE_EDUC	-1,806
14_PETROL_GAS	-1,781	34_O_PR_REFIN	-1,009	54_CARNE_BOV	-0,755	74_SERV_EMPR	-1,667
15_CARVAO_OUT	0,000	35_PETROQ_BAS	-0,800	55_CARNE_AVES	-1,536	75_ALUG_IMOV	-1,130
16_MIN_N_MET	-2,418	36_RESINAS	-1,305	56_LEITE_BENF	0,000	76_ALUG_IMPUT	0,000
17_SIDER_BAS	-0,977	37_GASOALCOOL	0,000	57_O_PR_LATIC	-4,941	77_ADM_PUBLIC	0,000
18_LAMIN_ACO	-2,969	38_ADUBOS	-1,280	58_ACUCAR	-1,094	78_SAU_PUBLIC	0,000
19_MET_N_FERR	-1,199	39_TINTAS	-1,801	59_OL_VEG_BRU	-2,744	79_EDU_PUBLIC	0,000
20_OUTR_METAL	-2,916	40_O_PR_QUIM	-1,169	60_OL_VEG_REF	-1,087	80_S_P_N_MERC	-1,660

Fonte: Elaboração própria

Anexo I – Formulação de um modelo de equilíbrio geral como um problema de complementaridade.

O modelo de equilíbrio geral aqui proposto é formulado como um problema de complementaridade misto (MCP – *Mixed Complementarity Problem*), uma combinação de equações complementares e de igualdade como feito em (Ferris e Pang, 1997). Utilizou-se também informações complementares de (Bordoni; 2001; Wing, 2004).

Assume-se que a economia de um país, ou de uma região tem em um número finito de bens l sendo que a cada bem é associado um preço p . Observe-se que o termo *bem* é aqui utilizado no sentido amplo, incluindo fatores primários, insumos, produtos e serviços. Há dois tipos de agentes econômicos que transacionam com estes bens: os setores produtivos e os consumidores. Nesta descrição da economia assumem-se n setores produtivos e m consumidores. Por hipótese a economia é de concorrência perfeita, ou seja, os consumidores e setores produtivos não tem um produtor favorito, todos são tomadores de preços, tendo consumidores e setores produtivos informação perfeita sobre estes preços.

I.1 - Descrição da produção

A produção dessa economia pode ser descrita usando o vetor de produção líquida $\mathbf{y}^j \in \mathbf{R}^l$ para cada setor j , com j variando de 1 a n . Cada elemento deste vetor é positivo se o setor produz mais do que consome do bem correspondente e é negativo se o setor consome mais do que produz. Cada setor é limitado pela sua tecnologia, que é conceitualmente modelada utilizando o conjunto de produção $\mathbf{Y}^j \in \mathbf{R}^l$. Por hipótese, \mathbf{Y}^j é um conjunto fechado e contém o vetor $\mathbf{0}$, de modo que é possível não produzir. Na notação aqui utilizada, sobrescritos referem-se a vetores coluna associados a setores produtivos ou consumidores e subscritos referem-se a elementos desses vetores.

A tecnologia dos setores também é descrita de forma equivalente pela matriz $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ de produção unitária, formada pelo conjunto de vetores $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$ de produção líquida unitária, cujos elementos são funções não lineares do vetor de preços \mathbf{p} :

$$\mathbf{A}(\mathbf{p}) = [\mathbf{a}^1(\mathbf{p}), \mathbf{a}^2(\mathbf{p}), \dots, \mathbf{a}^n(\mathbf{p})] \in \mathbf{R}^{l \times n} \quad (\text{I.1})$$

Níveis de atividade dos setores $\mathbf{z} \in \mathbf{R}^n$ usados em conjunto com a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ possibilitam obter os vetores \mathbf{y}^j do conjunto de produção \mathbf{Y}^j . Assim, para o setor j , com $z_j \geq 0$, tem-se:

$$\mathbf{y}^j = \mathbf{a}^j(\mathbf{p}) z_j \quad (\text{I.2})$$

Sendo o setor j um tomador de preço, as suas ações não afetam os preços da economia, sendo este um caso especial do equilíbrio geral onde os preços são determinados somente pela tecnologia dos setores e os níveis de produção são determinados pelos consumidores.

A tecnologia dos setores $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$, com $j = 1, \dots, l$, é determinada através de funções de produção, geralmente adotando-se a hipótese de retornos constantes à escala – CRS (*Constant Returns to Scale*), que significam funções de produção positivamente homogêneas de grau 1, isto é, $f(\eta x) = \eta f(x)$ para todo $\eta > 0$. Normalmente, um grande número de setores e consumidores são modelados, podendo qualquer setor ser considerado pequeno em comparação com a dimensão do mercado, tornando esta suposição razoável.

A classe de funções de produção mais utilizada na literatura econômica é a das chamadas funções com elasticidade constante de substituição – CES (*Constant Elasticity of Substitution*), cuja forma geral é:

$$f(\mathbf{x}) = \left(\sum_{i=1}^l \lambda_i x_i \right)^{1/\rho}, \lambda_i \geq 0, i=1, \dots, l \quad (\text{I.3})$$

O domínio das funções (I.3) é \mathbf{R}_+^l com as fronteiras definidas por continuidade. Estas funções são côncavas para $\rho < 1$, caso em que são utilizadas para modelar a substituição de insumos, na agregação dos insumos x_i para a obtenção da produção $f(\mathbf{x})$.

Quando $\rho > 1$, as funções (I.3) são convexas, sendo utilizadas para modelar a transformação de produtos, na desagregação dos produtos x_i obtidos da produção $f(\mathbf{x})$. Nesse caso, as funções $f(\mathbf{x})$ são referenciadas na literatura como funções com elasticidade constante de transformação CET (*Constant Elasticity of Transformation*).

Ainda com relação a ρ , destacam-se os casos especiais da função de produção *linear*, quando $\rho = 1$ ⁵⁶, função *Cobb-Douglas*, no limite quando $\rho \rightarrow 0$ e função *Leontief*, no limite quando $\rho \rightarrow -\infty$. Na prática, os parâmetros λ_i e ρ das funções CES são geralmente calibrados com base em dados de cada tipo de modelo. Uma característica interessante das funções CES é que elas podem ser aninhadas em vários níveis, para modelar tanto interações locais bem como interações globais.

⁵⁶ Observe-se que, nesse caso, a função de produção não apresenta concavidade ou convexidade.

Ressalte-se que as funções de produção não são usadas diretamente na obtenção dos vetores $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$ de produção líquida unitária. Para esta finalidade são utilizadas as funções *demandas condicionais de insumos* e *ofertas condicionais de produtos*, obtidas, respectivamente, através da minimização dos custos e da maximização dos lucros de produção em função dos preços dos bens a partir das funções de produção, como detalhado a seguir.

Para isso, considere-se que o vetor de produção líquido \mathbf{y}^j de um dado setor j seja representado dividido em produtos \mathbf{q}^j e insumos \mathbf{x}^j , tal que:

$$\mathbf{y}^j \equiv \mathbf{q}^j - \mathbf{x}^j \quad (\text{I.4})$$

Considere-se que a demanda pelos l insumos \mathbf{x}^j do setor j seja dada pela função de produção CES $f^j(\mathbf{x}^j)$, com $\rho \leq 1$:

$$f^j(\mathbf{x}^j) = \left(\sum_{i=1}^l \alpha_i x_i^j \right)^{1/\rho}, \quad \alpha_i \geq 0, \quad i=1, \dots, l \quad (\text{I.5})$$

As demandas condicionais unitárias de insumos são obtidas resolvendo o problema de minimização do custo unitário:

$$\text{Min}_{\mathbf{x}^j} \left\{ \mathbf{p}^T \mathbf{x}^j : f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{x}^j \geq 0 \right\} \quad (\text{I.6})$$

As resoluções teórica e aplicada desse problema não são detalhadas aqui. Elas são apresentadas, respectivamente, por Varian (1992, pp. 58 a 63) e Rutherford (2002)⁵⁷. Resolvendo-se esse problema para o insumo i , obtém-se a demanda condicional unitária x_i^j em função dos preços \mathbf{p} ; para explicitar a dependência funcional entre os preços e a produção unitária, ela é renomeada como $ax_i^j(\mathbf{p})$.

Observe-se que o nível de atividade z_j possibilita converter o vetor de demanda condicional unitária $ax^j(\mathbf{p})$ no vetor \mathbf{x}^j de bens. Assim, para o setor j , com $z_j \geq 0$, tem-se:

$$\mathbf{x}^j = ax^j(\mathbf{p}) z_j \quad (\text{I.7})$$

De modo semelhante ao feito para as demandas condicionais unitárias de insumos, considere-se que a oferta de produtos \mathbf{q}^j do setor j seja dada pela função de produção CET $g^j(\mathbf{q}^j)$, com $\rho \geq 1$:

$$g^j(\mathbf{q}^j) = \left(\sum_{i=1}^l \beta_i q_i^j \right)^{1/\rho}, \quad \beta_i \geq 0, \quad i=1, \dots, l \quad (\text{I.8})$$

⁵⁷ Rutherford utiliza a “forma fracional calibrada” da função CES, onde as funções de demanda condicional incorporam explicitamente os valores de referência do produto, do custo, das frações das demandas de fatores, dos preços dos fatores e da elasticidade de substituição.

As ofertas condicionais de produtos unitárias são obtidas resolvendo o problema de maximização do lucro unitário:

$$\text{Max}_{\mathbf{q}^j} \{ \mathbf{p}^T (\mathbf{q}^j - \mathbf{x}^j) : g^j(\mathbf{q}^j) = 1, f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{q}^j, \mathbf{x}^j \geq 0 \} \quad (\text{I.9})$$

Observe-se que a maximização do lucro implica na minimização do custo (Varian, 1992, p. A13). A resolução de problemas de maximização com restrições não é detalhada aqui; o leitor interessado pode consultar Varian (1992, pp. 397 a 501). Resolvendo-se esse problema para o produto i , obtém-se a oferta condicional q_i^j em função dos preços \mathbf{p} e, para adequadamente explicitar a dependência funcional dos preços e a produção unitária, ela é renomeada como $aq_i^j(\mathbf{p})$.

Aqui também, o nível de atividade z_j possibilita converter o vetor de oferta condicional unitária $\mathbf{aq}^j(\mathbf{p})$ no vetor \mathbf{q}^j de bens. Assim, para o setor j , com $z_j \geq 0$, tem-se:

$$\mathbf{q}^j = \mathbf{aq}^j(\mathbf{p}) z_j \quad (\text{I.10})$$

Assim, utilizando-se os resultados obtidos em (I.10) e (I.7), junto com as expressões (I.2) e (I.4), têm-se:

$$\mathbf{y}^j = \mathbf{a}^j(\mathbf{p}) z_j = (\mathbf{aq}^j(\mathbf{p}) - \mathbf{ax}^j(\mathbf{p})) z_j, \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (\text{I.11})$$

Ressalte-se que, dessa maneira, as tecnologias de produção de todos os setores são representadas em função apenas dos preços \mathbf{p} dos produtos e dos níveis de atividades \mathbf{z} dos setores, resultado que é utilizado mais à frente na formação das equações do modelo.

I.2 – Descrição do consumo

Pelo lado do consumo a economia é definida de forma semelhante à feita pelo lado da oferta, sendo que o vetor de consumo \mathbf{d}^k de cada tipo de consumidor k , com $k = 1, \dots, m$, indica a quantidade de bens que é consumida, e as restrições de consumo impostas a esse consumidor são definidas pelo conjunto de consumo $\mathbf{X}^k \subseteq \mathbf{R}_+^l$, ou seja, para todos os vetores de consumo que compõem o conjunto, as quantidades individuais dos bens consumidos devem ser maiores que zero.

Uma noção fundamental para os consumidores é a ideia de preferências, ou seja, uma ordenação completa sobre o conjunto de bens. Assim, um consumidor pode preferir a cesta de bens \mathbf{b} ao invés da cesta \mathbf{c} , ou pode ser indiferente entre elas, ou preferir a cesta \mathbf{c} à cesta \mathbf{b} . Esta preferência pode ser representada por uma função utilidade u^k , com a

propriedade de que $u^k(\mathbf{b}) > u^k(\mathbf{c})$, $u^k(\mathbf{b}) = u^k(\mathbf{c})$, ou $u^k(\mathbf{b}) < u^k(\mathbf{c})$, respectivamente, nas situações mencionadas acima. Assume-se, também, a hipótese de não saciedade, isto é, dada qualquer cesta de bens $\mathbf{b}^k \in \mathbf{X}^k$, há sempre outra cesta $\mathbf{c}^k \in \mathbf{X}^k$ que o consumidor k pode preferir.

Na maioria dos casos, u é contínua e geralmente utilizam-se funções CES côncavas com $\rho \leq 1$ para representá-la:

$$u^k(\mathbf{d}^k) = \left(\sum_{i=1}^l \lambda_i d_i \right)^{1/\rho}, \quad \rho \leq 1, \quad \lambda_i \geq 0, \quad i=1, \dots, l \quad (\text{I.12})$$

O k -ésimo consumidor possui uma renda inicial w_k , e assumindo que ele é um tomador de preço, irá maximizar a sua utilidade, sujeita à sua renda e restrições de consumo. Normalmente, a renda é determinada a partir de uma dotação inicial \mathbf{e}^k de fatores primários, de modo que $w_k = \mathbf{p}^T \mathbf{e}^k$. Com base nestas hipóteses, a demanda do consumidor k depende da função utilidade, preços e dotações. Assim, para maximizar sua utilidade, o k -ésimo consumidor resolve o seguinte problema:

$$\text{Max}_{\mathbf{d}^k} \left\{ u^k(\mathbf{d}^k) : \mathbf{p}^T \mathbf{d}^k \leq w_k; \mathbf{d}^k \in \mathbf{X}^k \right\} \quad (\text{I.13})$$

Dada a hipótese de não saciedade, a restrição orçamentária fica vinculada à solução ótima. Em muitos modelos presume-se que $\mathbf{p} > \mathbf{0}$, pois a maximização da utilidade em (I.13) não possui solução quando algum $p_i = 0$ e o produto i é desejável, tendo em vista que $\mathbf{X}^k = \mathbf{R}_+^l$. Em qualquer caso, o teorema de Weierstrass garante a existência de um ponto ótimo para o problema (I.13) desde que u^k seja contínua e que \mathbf{X}^k seja compacto (ou seja, limitado e fechado), como aqui definido.

Da mesma maneira que no caso das funções de produção, as funções utilidade são usadas indiretamente na formulação matemática do modelo, através das *demandas condicionais de bens*. As abordagens teórica e aplicada do problema de maximização da função utilidade (I.13) não são detalhadas aqui; elas podem ser consultadas nos trabalhos de Varian (1992, pp. 94 a 112) e Rutherford (2002).

Da resolução do problema (I.13) para o bem i obtém-se a demanda condicional d_i^k em função dos preços \mathbf{p} e da renda w_k , e, para adequadamente explicitar a dependência funcional dos preços e da renda do consumidor, ela é renomeada como $d_i^k(\mathbf{p}, w_k)$, sendo utilizada a seguir na formação das equações do modelo.

I.3 - Formalização matemática do modelo de equilíbrio econômico

Como visto na seção 3.2, uma das condições para a existência do equilíbrio econômico é a *conservação do produto*, que reflete o princípio do equilíbrio físico material, onde a oferta de qualquer bem – tanto fatores primários como produtos das empresas – deve ser totalmente consumida pela demanda, seja dos consumidores finais ou dos processos produtivos das empresas.

Introduzindo o conceito de oferta excedente de um bem como sendo a quantidade ofertada menos a quantidade demandada, a *conservação do produto* pode ser expressa, então, como a condição de que a oferta excedente de qualquer bem deve ser zero.

A expressão matemática da oferta excedente $E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w})$, para $i = 1, \dots, l$, definida como a quantidade ofertada menos a quantidade demandada do bem i em função dos preços \mathbf{p} dos bens, dos níveis de atividades \mathbf{z} dos setores produtivos e da renda \mathbf{w} dos consumidores, é:

$$E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = \sum_{k=1}^m e_i^k + \sum_{j=1}^n (aq_i^j(\mathbf{p}) z_j) - \sum_{j=1}^n (ax_i^j(\mathbf{p}) z_j) - \sum_{k=1}^m d_i^k(\mathbf{p}, w^k) \quad (\text{I.14})$$

Onde:

e_i^k – é a dotação do bem i do consumidor k ,

$aq_i^j(\mathbf{p})$ – é a oferta condicional do bem i do setor j , obtida de (I.9)

$ax_i^j(\mathbf{p})$ – é a demanda condicional do insumo i do setor j , obtida de (I.6),

$d_i^k(\mathbf{p}, w^k)$ – é a demanda condicional do bem i do consumidor k , obtida de (I.13),

z_j – é o nível de atividade do setor j e

w^k – é a renda do consumidor k .

Observe-se que no equilíbrio a oferta excedente de um bem é zero e seu preço é maior que zero⁵⁸. Ocorrendo um desequilíbrio em que a oferta excedente seja maior que zero⁵⁹, ou o preço do bem irá diminuir ocasionando um aumento da quantidade demandada até que um novo equilíbrio seja alcançado, ou persistindo o desequilíbrio, seu preço tenderá a zero.

⁵⁸ A rigor, existe ainda a possibilidade matemática de oferta excedente e preço serem zero ao mesmo tempo, que corresponderia a um equilíbrio econômico degenerado, um caso limite de qualquer uma das duas possibilidades consideradas.

⁵⁹ Caso seja menor que zero, com o excesso de demanda o preço tenderá a crescer, estimulando o crescimento da oferta até se obter o equilíbrio novamente, a um preço maior e com a oferta excedente voltando a ser zero.

Essa dualidade complementar entre a oferta excedente de um bem e seu preço se expressa matematicamente afirmando que seu produto é zero, sendo ambos maiores ou iguais a zero, ou seja, um dos dois efetivamente deve ser zero:

$$p_i \cdot E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = 0, \quad \text{com } p_i \geq 0, \quad E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \geq 0, \quad \text{para } i=1, \dots, l \quad (\text{I.15})$$

ou ainda, utilizando-se o símbolo de complementaridade “ \perp ” e notação vetorial:

$$0 \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \geq 0 \quad (\text{I.16})$$

Entretanto, nessa formulação, o problema de complementaridade não linear requer, para se encontrar os preços \mathbf{p} de equilíbrio de mercado dos bens, que se determinem, simultaneamente, os níveis de atividade \mathbf{z} de equilíbrio dos setores produtivos e a renda \mathbf{w} de equilíbrio dos consumidores, o que é abordado a seguir.

A outra condição apresentada na seção 3.2 para a existência do equilíbrio econômico é a *conservação do valor*, que reflete o princípio contábil do equilíbrio entre receitas e despesas – equilíbrio tanto nos processos produtivos das empresas como no orçamento dos consumidores finais.

Nos setores produtivos, a conservação do valor implica na *condição de lucro zero* – onde o valor dos bens produzidos deve ser igual à soma dos custos de todos os insumos (bens e fatores) utilizados.

O lucro de um setor j é obtido multiplicando sua produção líquida \mathbf{y}^j pelos preços \mathbf{p} . Assim, a partir da equação (I.11), obtém-se a seguinte expressão para o lucro $L_j(\mathbf{p}, z_j)$ do setor produtivo j em função dos preços \mathbf{p} e de seu nível de atividade z_j , para $j = 1, \dots, n$:

$$L_j(\mathbf{p}, z_j) = \mathbf{p}^T \mathbf{y}^j = \mathbf{p}^T \mathbf{a}^j(\mathbf{p}) z_j = \mathbf{p}^T (\mathbf{a}\mathbf{q}^j(\mathbf{p}) - \mathbf{a}\mathbf{x}^j(\mathbf{p})) z_j \quad (\text{I.17})$$

A descrição das atividades de produção na seção I.1, feita com as hipóteses de concorrência perfeita e retornos constantes à escala das funções de produção utilizadas, possibilita justificar economicamente o conceito de lucro zero na produção, pois se alguma empresa fizesse um lucro positivo, então, ao replicar sua atividade, replicaria seu lucro e, portanto, o lucro total seria ilimitado. Intuitivamente, o comportamento imitador de outras empresas do setor aumentaria a oferta do bem, o que forçaria uma redução do preço no mercado e, portanto, tenderia a reduzir a rentabilidade desse bem até que o lucro fosse zero.

Observe-se que no equilíbrio o lucro do setor é zero e seu nível de atividade é maior que zero⁶⁰. Ocorrendo um desequilíbrio em que o lucro se torne negativo, ou as

⁶⁰ Se o nível de atividade também for zero tem-se novamente um caso de equilíbrio degenerado.

empresas menos rentáveis cessarão suas atividades ocasionando uma diminuição da quantidade ofertada, o que forçaria um aumento dos preços de mercado até que o valor da produção fosse igual ao custo dos insumos, ou persistindo o desequilíbrio, o nível de atividade tenderá a zero.

Novamente observa-se uma dualidade, embora diferente do caso anterior, entre o lucro de um setor produtivo e seu nível de atividade, que se expressa matematicamente como seu produto sendo zero e o lucro sendo menor ou igual a zero e o nível de atividade sendo maior ou igual a zero, ou seja, um dos dois efetivamente deve ser zero:

$$z_j \cdot L_j(\mathbf{p}, z_j) = 0, \quad \text{com } z_j \geq 0, \quad L_j(\mathbf{p}, z_j) \leq 0, \quad \text{para } j=1, \dots, n \quad (\text{I.18})$$

Para transformar a expressão acima no formato complementar padrão, de modo que ele possa ser resolvido como um problema de complementaridade, multiplica-se a expressão $L_j(\mathbf{p}, z_j) \leq 0$ por -1 obtendo-se $-L_j(\mathbf{p}, z_j) \geq 0$:

$$z_j \cdot (-L_j(\mathbf{p}, z_j)) = 0, \quad \text{com } z_j \geq 0, \quad -L_j(\mathbf{p}, z_j) \geq 0, \quad \text{para } j=1, \dots, n \quad (\text{I.19})$$

Ou ainda, utilizando-se o símbolo de complementaridade “ \perp ” e notação vetorial:

$$0 \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{L}(\mathbf{p}, \mathbf{z}) \geq 0 \quad (\text{I.20})$$

A resolução do problema acima fornece os níveis de atividade \mathbf{z} de equilíbrio de mercado, faltando apenas a obtenção das rendas \mathbf{w} dos consumidores, que é abordada a seguir.

No consumo final, a conservação do valor implica na *condição de equilíbrio do orçamento dos consumidores* – onde o valor dos bens consumidos deve ser igual à renda decorrente de suas dotações de fatores primários.

A renda do consumidor k é obtida multiplicando sua dotação e^k pelos preços \mathbf{p} dos bens. Assim, a expressão da renda w_k do consumidor k em função dos preços \mathbf{p} e suas dotações e^k , para $k = 1, \dots, m$, é:

$$w_k = \mathbf{p}^T e^k, \quad \text{para } k=1, \dots, m \quad (\text{I.21})$$

Ou ainda, utilizando-se notação vetorial:

$$\mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \quad (\text{I.22})$$

Observe-se que as demandas condicionais por bens $d_i^k(\mathbf{p}, w_k)$ dos consumidores obtidas de (I.13) são restritas pela renda w_k definida acima, dessa maneira garantindo o equilíbrio orçamentário dos consumidores.

Assim, o conjunto de equações complementares e de igualdade (I.16), (I.20) e (I.22) compõem o seguinte problema misto de complementaridade não linear que formaliza o equilíbrio econômico:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{E}(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) \geq 0 \\ 0 \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{L}(\mathbf{p}, \mathbf{z}) \geq 0 \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \end{aligned} \right\} \quad (\text{I.23})$$

Alternativamente, essa formalização pode ser feita utilizando-se a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$, pois rearranjando (I.14) tem-se, para $i = 1, \dots, l$:

$$E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = \sum_{j=1}^n (aq_i^j(\mathbf{p}) - ax_i^j(\mathbf{p})) z_j + \sum_{k=1}^m (e_i^k - d_i^k(\mathbf{p}, w^k)) \quad (\text{I.24})$$

ou, de (I.11), para $i = 1, \dots, l$:

$$E_i(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w}) = \sum_{j=1}^n a_i^j(\mathbf{p}) z_j + \sum_{k=1}^m (e_i^k - d_i^k(\mathbf{p}, w^k)) \quad (\text{I.25})$$

De (I.17), para $j=1, \dots, n$, obtém-se:

$$L_j(\mathbf{p}, z_j) = \mathbf{p}^T \mathbf{a}^j(\mathbf{p}) z_j \quad (\text{I.26})$$

Assim, substituindo (I.25) e (I.26) em (I.23) e usando notação vetorial, tem-se a formalização do equilíbrio econômico usando a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{A}(\mathbf{p}) \mathbf{z} + \sum_{k=1}^m (\mathbf{e}^k - \mathbf{d}^k(\mathbf{p}, w_k)) \geq \mathbf{0} \\ 0 \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{p}^T \mathbf{A}(\mathbf{p}) \mathbf{z} \geq \mathbf{0} \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \end{aligned} \right\} \quad (\text{I.27})$$

Essa formulação utilizando a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ é equivalente à (I.23), sendo os elementos $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$ da matriz $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ obtidos com os setores maximizando o lucro e minimizando custos e $d_i^k(\mathbf{p}, w_k)$ é determinada com os consumidores maximizando sua utilidade.

Ferris e Pang (1997) ressaltam que o sistema (I.27) “têm solução indeterminada e, portanto, se $(\mathbf{p}, \mathbf{z}, \mathbf{w})$ é uma solução do problema acima, então $(\lambda \mathbf{p}, \lambda \mathbf{z}, \lambda \mathbf{w})$ também é solução para qualquer $\lambda > 0$. Assim, várias estratégias são consideradas na literatura para determinar uma solução: uma estratégia é fixar o preço de um determinado bem, outra é fixar a soma dos preços, e ainda outra é fixar um nível de renda de um dos consumidores. Na primeira estratégia existe o problema de que o preço fixado pode ser igual a zero, enquanto que a segunda estratégia aumenta a dimensão do problema e introduz uma coluna arbitrária correspondente ao multiplicador adicionado para a restrição extra. Fixando a

renda de um consumidor reduz o tamanho do problema, sem o perigo de introduzir inconsistências no modelo e numericamente existe a vantagem de deixar as restrições de renda explícitas ao invés de substituir os valores na função demanda, que gera matrizes Jacobianas mais densas”.

Observe-se no parágrafo acima que a justificativa para descartar a primeira alternativa é inconsistente, pois ao se fixar o preço de um bem, esse preço se torna uma variável exógena do modelo, não havendo possibilidade de se tornar zero. Ainda sobre a fixação do preço de um bem como numerário, Melo e Robinson (1989) afirmam que “uma grande variedade de equações de normalização de preços tem sido utilizada. Johansen, em seu estudo pioneiro (1960), fixou o salário do trabalho e, assim, expressou todos os preços em termos de salários. Pode-se, alternativamente, corrigir o preço de qualquer bem e expressar todos os preços em termos deste bem numerário. Na verdade, pode-se normalizar em torno de praticamente qualquer magnitude nominal no modelo da economia, porque isso não afetará nenhuma das variáveis reais”.

I.4 – Introduzindo impostos e subsídios no modelo

A aplicação de impostos nos insumos e produtos afeta a lucratividade e a escolha de tecnologias nos setores, como também altera a renda dos consumidores que são os destinatários desses impostos, seja diretamente ou indiretamente através de um agente governo, que recebe os impostos e os redistribui através de transferências ou subsídios (estes últimos são aqui tratados como impostos com alíquotas fiscais negativas).

Quando os preços dos insumos são distorcidos por impostos tx_i^j (para $i = 1, \dots, l$ e $j = 1, \dots, n$), o problema de minimização (I.6) para a obtenção das demandas condicionais por insumos do setor j se transforma no seguinte problema:

$$\text{Min}_{\mathbf{x}^j} \{ ((1+\mathbf{t}\mathbf{x}^j) \mathbf{p})^T \mathbf{x}^j : f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{x}^j \geq 0 \} \quad (\text{I.28})$$

As observações sobre a resolução do problema de minimização (I.6) também se aplicam aqui e, da mesma forma, como resultado obtém-se as demandas condicionais por insumos, agora distorcidas por impostos. Assim, a demanda condicional $ax_i^j(\mathbf{p})$ é renomeada como $atx_i^j(\mathbf{p})$, para indicar a aplicação dos impostos.

De maneira semelhante, quando os preços dos bens produzidos são distorcidos por impostos tq_i^j (para $i = 1, \dots, l$ e $j = 1, \dots, n$), o problema de maximização (I.9) para a obtenção das ofertas condicionais de produtos do setor j se transforma no seguinte problema:

$$\text{Max}_{\mathbf{q}^j} \{ ((1 - \mathbf{tq}^j) \mathbf{p})^T \mathbf{q}^j - \mathbf{p}^T \mathbf{x}^j : g^j(\mathbf{q}^j) = 1, f^j(\mathbf{x}^j) = 1, \mathbf{q}^j, \mathbf{x}^j \geq 0 \} \quad (\text{I.29})$$

Novamente, as observações sobre a resolução do problema de maximização (I.9) também aqui se aplicam e, igualmente, obtém-se como resultado as ofertas condicionais de produtos, desta vez distorcidas por impostos. Assim, a oferta condicional $aq_i^j(\mathbf{p})$ é renomeada como $atq_i^j(\mathbf{p})$, para indicar a aplicação dos impostos.

Assim, substituindo-se na expressão (I.11) a oferta condicional de produtos $\mathbf{atq}^j(\mathbf{p})$ e a demanda condicional de insumos $\mathbf{atx}^j(\mathbf{p})$ distorcidas por impostos obtidas de (I.28) e (I.29), juntamente com o nível de atividade z_j , tem-se:

$$\mathbf{y}^j = \mathbf{at}^j(\mathbf{p}) z_j = (\mathbf{atq}^j(\mathbf{p}) - \mathbf{atx}^j(\mathbf{p})) z_j, \quad \text{para } j = 1, \dots, n \quad (\text{I.30})$$

Observe-se que o vetor $\mathbf{a}^j(\mathbf{p})$ de produção líquida unitária definido em (I.11) também é distorcido por impostos, devendo ser renomeado para $\mathbf{at}^j(\mathbf{p})$ em (I.30) e, conseqüentemente, a matriz de tecnologia $\mathbf{A}(\mathbf{p})$ é renomeada para $\mathbf{AT}(\mathbf{p})$. Assim, a matriz de tecnologia $\mathbf{AT}(\mathbf{p})$, formada pelos elementos $\mathbf{at}^j(\mathbf{p})$, descreve a tecnologia de produção com os setores maximizando o lucro e minimizando custos distorcidos por impostos.

A avaliação dos impactos dos impostos na distribuição do consumo utiliza uma metodologia análoga, que não foi empregada neste trabalho.

O total de impostos e subsídios cobrados da atividade j é calculado através da eq. (I.31):

$$TT_j = \sum_{i=1}^l (atq_i^j(\mathbf{p}) tq_i^j p_i + atx_i^j(\mathbf{p}) tx_i^j p_i) z_j \quad (\text{I.31})$$

Uma parcela $\theta_{j,k}$ dos impostos do setor j é repassada ao consumidor k e o total de impostos RT_k a serem recebidos pelo consumidor k é obtido por:

$$RT_k = \sum_{j=1}^n \theta_{j,k} TT_j \quad (\text{I.32})$$

A renda dos consumidores também pode ser alterada por transferências de montante fixo $LST_{i,j}$ (*lump sum transfers*), onde um consumidor i faz transferências (positivas ou negativas) para outro consumidor j , sendo que o total das transferências deve somar zero.

Com essas alterações devidas aos impostos e transferências, o conjunto das condições de equilíbrio econômico (I.27) é agora dado por:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{0} \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{AT}(\mathbf{p}) \mathbf{z} + \sum_{k=1}^m (\mathbf{e}^k - \mathbf{d}^k(\mathbf{p}, w_k)) &\geq \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{p}^T \mathbf{AT}(\mathbf{p}) \mathbf{z} &\geq \mathbf{0} \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} + \mathbf{RT} + \mathbf{LST} & \end{aligned} \right\} \quad (\text{I.33})$$

I.5 - Restrições adicionais no modelo

Ao se modelar uma economia, muitas vezes é necessário restringir um ou mais componentes do modelo econômico, como por exemplo, impor limites a preços, estabelecer quotas, atingir metas de importação ou exportação e outros⁶¹.

A introdução de uma restrição adicional, não acompanhada de outras providências, em geral, torna o modelo sem solução. Porém, se a restrição for introduzida na forma de uma condição de complementaridade, a variável complementar associada – chamada de multiplicador em analogia às variáveis duais da programação matemática – pode ser usada para distorcer a economia, fazendo-a acomodar a restrição adicional.

Essa formulação depende essencialmente de se entender o fenômeno econômico envolvido. Exemplificando, para uma restrição fixando um valor mínimo para os rendimentos do trabalho, o multiplicador associado poderia ser interpretado como a taxa de desemprego, que corresponde à fração das dotações de trabalho que deve ser eliminada da economia. Alternativamente, o multiplicador poderia ser usado para distorcer a economia na forma de um subsídio a ser concedido à mão-de-obra usada em uma ou mais atividades produtivas.

Assim, restrições adicionais aos componentes do modelo podem ser acrescentadas ao sistema (I.33) na forma de equações de complementaridade.

Por exemplo, em um experimento contrafactual, para que a renda w^k do consumidor k atinja um determinado valor RC_k (*Renda Contrafactual*), sua renda $p^T e^k$ deve ser ajustada por um multiplicador mrc_k obtido em uma equação de complementaridade tal que:

$$0 \leq mrc_k \perp RC_k - (p^T e^k mrc_k + RT_k + \sum_{i=1}^m LST_{i,k}) \geq 0 \quad (\text{I.34})$$

Além de adicionar essa equação ao sistema (I.33), na equação da renda do consumidor k no sistema (I.33) a renda $p^T e^k$ deve ser ajustada pelo multiplicador mrc_k :

⁶¹ As considerações desta seção são baseadas no trabalho de Bordoní (2001).

$$w^k = p^T e^k mrc_k + RT_k + \sum_{i=1}^m LST_{i,k} \quad (\text{I.35})$$

Supondo que no experimento a renda de todos os consumidores deverá atingir os valores exógenos RC_k , para $k = 1, \dots, m$, colocando (I.34) e (I.35) em notação vetorial, o sistema (I.33) se torna:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{0} \leq \mathbf{p} \perp \mathbf{AT}(\mathbf{p}) \mathbf{z} + \sum_{k=1}^m (\mathbf{e}^k - \mathbf{d}^k(\mathbf{p}, w_k)) &\geq \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \leq \mathbf{z} \perp -\mathbf{p}^T \mathbf{AT}(\mathbf{p}) \mathbf{z} &\geq \mathbf{0} \\ \mathbf{w} = \mathbf{p}^T \mathbf{e} \mathbf{mrc} + \mathbf{RT} + \mathbf{LST} & \\ \mathbf{0} \leq \mathbf{mrc} \perp \mathbf{RCF} - (\mathbf{p}^T \mathbf{e} \mathbf{mrc} + \mathbf{RT} + \mathbf{LST}) &\geq \mathbf{0} \end{aligned} \right\} \quad (\text{I.36})$$

Observe-se que, nesse problema de otimização, as únicas variáveis exógenas são, além do preço do numerário (fixado em 1 para resolver a indeterminação do sistema de equações), as quantidades das dotações e^k e, agora com a restrição adicional, os valores das rendas contrafactuais RC_k , para $k = 1, \dots, m$.

Anexo J - Discussões adicionais

Texto baseado nos trabalhos de (Rutherford e Paltsev, 1999), (Ferris e Pang, 1997), (Bordoni; 2001) e (Wing, 2004).

J.1- Fechamento macroeconômico do modelo de otimização

No fechamento macroeconômico adotado neste modelo são **fixados** os gastos do consumo do governo, dos investimentos (que implica ser a poupança igual a investimentos) e do saldo do balanço de pagamentos, sendo o consumo das famílias maximizado. O PIB e as dotações de trabalho e capital são exógenos.

É importante ressaltar a diferença de operacionalização do fechamento entre os modelos de simulação como os do tipo Johansen e modelos de otimização como o aqui utilizado.

Os modelos de simulação que usam esse fechamento tornam exógenas as quantidades dos gastos dos componentes da demanda final, e ao encontrar o equilíbrio maximizando o consumo das famílias, os valores dos gastos desses componentes no equilíbrio são calculados em função das quantidades fixadas e de seus novos preços associados de equilíbrio (supondo-se que não tenham sido tornados exógenos também).

Segundo (Gilbert, 2013), matematicamente, um modelo 'fechado' equivale que há equações independentes suficientes para explicar variáveis endógenas, o que pode ser feito através da fixação de variáveis ou adicionando uma nova equação ao modelo.

Nos modelos de otimização a fixação exógena de quantidades é feita acrescentando-se restrições ao modelo. Isto geralmente é evitado, pois qualquer restrição adicional causa algum engessamento no modelo. Ao encontrar o equilíbrio maximizando o consumo das famílias, os valores dos gastos dos componentes do PIB no equilíbrio são calculados em função de seus novos níveis de atividades e preços de equilíbrio associados.

No trabalho de (Rutherford e Paltsev, 1999) o fechamento do modelo é abordado no anexo A.2.6 da seguinte forma:

“É apresentado o modelo de equilíbrio geral de referência que pretende ser o mais padrão possível. Um agente representativo é dotado de fatores primários (trabalho, capital). A demanda de investimento, a provisão pública e o déficit do balanço de pagamentos são

mantidos constantes. Depois de vender os fatores primários, comprar investimento e provisão pública, a renda restante é dedicada ao consumo privado. O código MPSGE que descreve a demanda final é:

\$ demanda: ra
 d: pc q: c0
 e: pl q: ls0
 e: rk q: ks0
 e: pfx q: bopdef
 e: pg q: (- g0)
 e: pinv q: (- i0)”

(tradução da autora)

Onde ra é o agente representativo, c0 é o consumo privado, ls0 e ks0 são as dotações de trabalho e capital e i0, g0, e bopdef são, respectivamente, a demanda de investimento, a provisão pública e o déficit do balanço de pagamentos. Nessa mesma ordem pc, pl, rk, pinv, pg e pfx são os preços associados a esses componentes.

Dessa maneira, na metodologia de otimização, as variáveis fixadas são utilizadas como **referência**⁶² na otimização da economia, sendo o fechamento macroeconômico garantido pela implementação do equilíbrio de receitas e gastos do consumidor representativo. Observe que isso reflete a operacionalização do fechamento macroeconômico dessa metodologia.

J.2- Adição de uma restrição adicional para fixar exogenamente o valor do PIB

Aborda-se aqui a operacionalização de modelos de otimização e o uso de restrições adicionais para fixar exogenamente quantidades. Deseja-se que nos experimentos contrafactuais aqui utilizados o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil siga exatamente uma trajetória pré-estabelecida. Para isso é necessário adicionar ao modelo uma restrição com esse objetivo baseada no PIB sob a ótica renda onde, usando os valores totais dos componentes descritos nas Tabelas de Recursos e Usos da Figura 4.1, tem-se:

$$\text{PIB} = L + K + \text{TXY} + \text{TXP} + \text{TXM} \quad (\text{J.1})$$

Observe-se que a implementação de uma restrição no modelo é mais complexa do que a expressão J.1, pois no equilíbrio o valor total calculado será proporcional aos preços

⁶² Meta numérica.

de L e K, e também da arrecadação dos impostos TXY, TXP e TXM, que dependerá tanto dos preços dos bens sobre os quais incidem os impostos como do nível das atividades em que os bens são utilizados ou produzidos. Deve ser notado também que embora as quantidades totais de L e K sejam fixadas por serem dotações, todos os preços e níveis de atividade envolvidos são variáveis endógenas do modelo.

Além disso, a utilização de uma restrição na metodologia de complementaridade, como detalhado no Anexo I, envolve também a utilização do multiplicador associado à restrição, que deverá ser aplicado, por exemplo, aos preços de L e K de maneira a aumentar ou diminuir endogenamente a renda total até que o valor projetado fixado para o PIB seja atingido.

Entretanto, como se optou por utilizar o preço do fator trabalho como numerário e, conseqüentemente, seu preço é fixado em 1, o multiplicador dessa restrição adicional é aplicado apenas sobre o preço do capital, fazendo com que a renda do capital se ajuste endogenamente à renda fixada do fator trabalho, de modo que a renda total seja igual ao PIB projetado.

Observa-se que a utilização dessa restrição adicional apenas reflete a operacionalização de se satisfazer as variáveis fixadas exogenamente na metodologia utilizada.