UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – ÁREA: ECONOMIA APLICADA

MARIA JULIANA IORIO DE MORAES

# Impactos do pré-sal na economia brasileira

ORIENTADOR: PROF. DR. ANGELO COSTA GURGEL

RIBEIRÃO PRETO
2013

Prof. Dr. João Grandino Rodas

Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Sigismundo Bialoskorski Neto

Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Sérgio Kannebley Júnior

Chefe do Departamento de Economia

MARIA JULIANA IORIO DE MORAES

# Impactos do pré-sal na economia brasileira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia- Área: Economia Aplicada da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Versão Corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP.

ORIENTADOR: PROF. DR. ANGELO COSTA GURGEL

RIBEIRÃO PRETO

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Moraes, Maria Juliana Iorio de
Impactos do pré-sal na economia brasileira. Ribeirão Preto, 2013.
122 p.: il.; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP.
Orientador: Gurgel, Angelo Costa.

1. Pré-sal. 2. Doença Holandesa. 3. Gases de efeito estufa. 4. Equilíbrio Geral Computável.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: MORAES, Maria Juliana Iorio de
Título: Impactos do pré-sal na economia brasileira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia- Área: Economia Aplicada da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr._____

Instituição:_____Assinatura:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____Assinatura:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____Assinatura:_____

*Dedico essa dissertação a*

*Deus*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela família e amigos que me concedeu.

Ao meu pai por ser um exemplo de esforço e generosidade. À minha mãe por ser um exemplo de doação e caráter. A ambos por me darem a maior alegria dessa vida que são meus dez irmãos e por terem sacrificado tanto pela nossa família. Aos meus queridos irmãos Gabi, Paula, Lara, Rafa, Lê, Marcos, Pedro, Bia, Teresa e Ester por terem me ensinado a amar. A vida só é completa por causa de vocês.

Ao meu orientador Prof. Dr. Angelo Costa Gurgel, por todo o apoio, orientação e paciência durante esse trabalho. Agradeço por ter sempre me concedido tempo e atenção para sanar minhas dúvidas e me mostrar a melhor direção a seguir. Ao Prof. Dr. Rudinei Toneto Jr. por além de ter sido um dos melhores professores que eu tive no mestrado, ter contribuído com este trabalho durante a etapa de qualificação. Ao Prof. Dr. Eduardo Haddad por todos os valiosos comentários e sugestões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À USP e à FEA-RP pela oportunidade do mestrado. À Capes, à FUNDACE, ao CNPq e à Rede Clima pelo apoio e suporte financeiro para conclusão deste trabalho.

Aos funcionários e professores da FEA-RP por todo o apoio concedido.

Aos meus amigos do mestrado. Agradeço especialmente à: Lívia por além de ser minha companheira de estudo, ser uma grande amiga, à Fê por ter me dado casa, comida e amizade. Mas mais que isso, por ser um exemplo de bondade a quem eu jamais poderei retribuir a altura. À Carol, Pri, Mari e Naysa por trazerem alegria e leveza a minha vida. Ao Guarujá por ser meu companheiro de conversas sérias e alegres. Ao Alemão pelo futebol, por me fazer rir e pelas músicas compartilhadas. Ao Gui pelas inúmeras caronas por Ribeirão e pelas conversas. Agradeço a todos pelo carinho que sempre tiveram comigo, cada um a sua maneira. Aprendi muito com todos e devo muito a vocês.

Aos meus amigos de Campinas, especialmente às minhas amigas do “Clubinho” por sempre me perdoarem pelas vezes que eu estive ausente por causa do mestrado e por serem aquelas que sempre se preocupam comigo e rezam por mim.

E ao André pela companhia constante e por me ensinar a ser sempre melhor. Por me incentivar sem nunca me pressionar. Por toda a compreensão. Por me ensinar o que é importante na vida. Pelo carinho, conselhos, orações e amor, minha eterna gratidão.

# RESUMO

MORAES, M. J. I. **Impactos do pré-sal na economia brasileira.** 2013. 122.f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

A projeção de expansão dos recursos petrolíferos do país a partir do pré-sal provocará, além do aumento da produção, a mudança na balança comercial do setor, tornando o Brasil um exportador líquido de petróleo e gás natural. Dada a importância do setor petrolífero para a economia de um país e sua presença como insumo em diversos setores buscou-se neste trabalho estudar os impactos desse choque de oferta na economia brasileira através de um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico para o horizonte de 2010 a 2020. Além disso, estudaram-se os impactos de longo prazo até 2090 através de dois cenários alternativos. Um deles calibrado para simular a curva de produção do petróleo incluindo o pré-sal projetada através da modelagem de Hubbert e outro através da simulação do pré-sal como uma tecnologia subsidiada endógena ao modelo utilizado. Foram investigados os impactos macroeconômicos, setoriais, a possibilidade de doença holandesa e os impactos ambientais nos cenários de médio e longo prazo descritos. Os resultados obtidos mostram que na análise até 2020, apesar de impactar positivamente o PIB e o bem-estar do consumidor representativo, a produção do pré-sal produziu sintomas de doença holandesa, observados a partir de apreciação cambial real, impacto negativo na produção de alguns setores, assim como deslocamento de fatores produtivos entre os setores. Também houve um impacto positivo no total de emissões de gases de efeito estufa brasileiras e mundiais. No primeiro cenário de longo prazo, os resultados de impactos positivos sobre o PIB e bem-estar, sintomas de doença holandesa e aumento de emissões de gases de efeito estufa são observados até o pico de produção em 2030. E no fim do horizonte de simulação observa-se um impacto negativo sobre o PIB, bem-estar e na produção de todos os setores da economia. No segundo cenário de longo prazo os efeitos em 2090 são também negativos, mas percebe-se um impacto negativo na economia nesse cenário também no médio prazo, devido à curva de subsídios assumida que provocou uma alocação ineficiente de recursos na economia. Conclui-se a partir desses resultados que o desenvolvimento do pré-sal traz mais custos que benefícios à economia brasileira no longo prazo, considerando o atual conhecimento tecnológico. Dessa forma, são desejáveis políticas de investimento e desenvolvimento tecnológico capazes de reduzir os custos de exploração, bem como medidas capazes de reverter ou reduzir os sintomas de doença holandesa.



**Palavras-Chave:** Pré-sal. Doença Holandesa. Gases de efeito estufa. Equilíbrio Geral Computável.

## ABSTRACT

MORAES, M. J. I. **Impacts of the pre-salt oil in the Brazilian economy.** 2013. 122.f. Dissertation (Master) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

The projected expansion of the country's oil resources from the pre-salt layer will cause, beyond an increase in production, a shift in the trade balance of the sector, turning Brazil into an oil and natural gas net exporter. Given the importance of the oil sector to the country's economy and its presence as an input in several sectors, in this article we studied the impact of this supply shock in the Brazilian economy through a dynamic computable general equilibrium model for the 2010-2020 time horizon. Furthermore, we studied the long-term impacts until 2090 through two alternative scenarios. One calibrated to simulate the oil production curve, including the pre-salt oil projected through Hubbert's model and the other scenario through the simulation of the pre-salt productions as a subsidized technology endogenous to the dynamic computable general equilibrium model used. This study aimed to analyze the macroeconomic, sectorial and environmental impacts, and the possibility of Dutch disease, all in the medium and long term scenarios. The results show that, until 2020, despite positively impacting GDP and welfare of the representative consumer, the shock produced symptoms of Dutch disease that can be inferred through the results of real exchange rate appreciation, negative impact on the production of some sectors, as well as productive factor movement across sectors. In addition, the pre-salt production positively impacted total emissions of greenhouse gases in Brazil and in the world. In the first long-term scenario, the outcomes of positive impact on GDP and welfare, symptoms of Dutch disease and increased greenhouse gas emission are observed until the oil production peak in 2030. In the end of the simulation horizon, there is a negative impact on GDP, welfare and production of all the economy sectors, given the Brazilian oil curve production assumption. In the second long-term scenario, the effects in 2090 are also negative, but negative impacts on the economy in this scenario are also noted in the medium term due to the assumed subsidy curve that caused an inefficient allocation of resources in the economy. From these results it is possible to conclude that the development of the pre-salt oil implies in more costs than benefits to the Brazilian economy in the long run, considering the current technological knowledge. Thus, investment policies and technological development that can reduce operating costs are desirable, as well as policies to reverse or reduce the symptoms of Dutch disease.



**Keywords**: Pre-salt. Dutch Disease. Greenhouse Gases. Computable General Equilibrium.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo circular de bens e serviços ..... 28
Figura 2 - Estrutura aninhada dos setores de serviços, transporte, intensivos em energia e outras indústrias. ..... 36
Figura 3 – Estrutura dos setores de produção: eletricidade ..... 37
Figura 4 - Estrutura aninhada dos setores primários de energia fóssil (carvão, petróleo e gás). ..... 38
Figura 5- Estrutura aninhada do setor de petróleo refinado ..... 38
Figura 6 – Estrutura aninhada do consumo das famílias ..... 40
Figura 7 – Estrutura da produção de petróleo de xisto ..... 46
Figura 8 – Setor de produção do pré-sal ..... 55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Agregação de regiões, setores e fatores utilizados no modelo EPPA ..... 31
Tabela 2 - Elasticidades de substituição dos setores produtivos – EPPA ..... 35
Tabela 3 - Elasticidades de substituição no consumo final no modelo EPPA ..... 40
Tabela 4 – Tecnologias alternativas disponíveis no EPPA ..... 45
Tabela 5 – Mark-ups e parcelas de custos com insumos para as tecnologias alternativas ..... 47
Tabela 6 - Elasticidades de substituição de insumos nas tecnologias alternativas ..... 48
Tabela 7- Projeção da produção nacional de petróleo pela EPE (milhões de barris diários)... 52
Tabela 8 - Produção nacional de petróleo (eJ) no cenário 1 e BAU..... 52
Tabela 9 – Resultados macroeconômicos e produção física de petróleo em 2020..... 57
Tabela 10 – Variações setoriais entre cenário 1 e BAU em 2020 (%) ..... 59
Tabela 11 – Emissões de CO2 equivalente por fonte – Variação entre o cenário 1 e BAU (%) ..... 61
Tabela 12 – Valor Presente da variação do PIB entre o cenário 2 e BAU acumulada de 2010 a 2090..... 64
Tabela 13 – Índice de bem-estar: variação entre o cenário 2 e BAU (%)..... 65
Tabela 14 – Variação na demanda por capital entre o cenário 2 e BAU ..... 70
Tabela 15 – Variação na demanda por trabalho entre o cenário 2 e BAU..... 71
Tabela 16 – Emissões de $CO_2$ equivalente por fonte – Variação entre o cenário 2 e BAU em 2030 e 2090 (%) ..... 71
Tabela 17– Valor Presente da variação do PIB entre o cenário 3 e BAU acumulada de 2010 a 2090..... 73
Tabela 18 – PIB: variação entre o cenário 3 e BAU e cenário 3 sem subsídio e BAU (%) .... 74
Tabela 19 – Índice de bem-estar: variação entre o cenário 3 e BAU (%)..... 75
Tabela 20– Índice de câmbio real: variação entre o cenário 3 e BAU (%)..... 76
Tabela 21 – Variação na demanda por capital entre o cenário 3 e BAU ..... 79
Tabela 22 – Variação na demanda por trabalho entre o cenário 3 e BAU..... 80
Tabela 23 – Emissões de CO2 equivalente por fonte – Variação entre o cenário 3 e BAU em 2090 (%)..... 81

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Produção do setor petrolífero nacional no cenário 2 e BAU (eJ) ..... 53
Gráfico 2 – Produção do setor petrolífero nacional no cenário 3 e BAU (eJ) ..... 56
Gráfico 3 – PIB, Investimento (I) e Gastos do governo (G): variação entre o cenário 2 e BAU (%) ..... 63
Gráfico 4 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção do setor de Petróleo refinado (%) ..... 66
Gráfico 5 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção dos setores de Alimentos e Agricultura (%)..... 66
Gráfico 6 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção dos setores de Indústrias intensivas em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)..... 67
Gráfico 7 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção do setor Outras indústrias (%) e Serviços..... 67
Gráfico 8 – Variação entre o Cenário 2 e BAU do preço do Petróleo refinado no Brasil (%) 69
Gráfico 9 – PIB, Investimento (I) e Gastos do governo: variação entre o cenário 3 e BAU (%) ..... 73
Gráfico 10 – Variação entre o cenário 3, cenário 3 sem subsídio e BAU da produção do setor de Petróleo refinado (%) ..... 76
Gráfico 11 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção dos setores de Alimentos e Agricultura (%)..... 77
Gráfico 12 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção dos setores de Indústria de intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)..... 77
Gráfico 13 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção do setor Outras indústrias e Serviços (%) ..... 78

**SUMÁRIO**

1 INTRODUÇÃO ..... 11

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 15

2.1 Importância da indústria do petróleo ..... 15

2.2 Maldição dos recursos naturais e doença holandesa ..... 17

2.3 Impactos ambientais do petróleo e política climática brasileira ..... 20

2.4 Estudo de choques produtivos de petróleo e recursos naturais e doença holandesa – modelos CGE 21

2.5 Choque produtivo do pré-sal – modelos CGE ..... 24

3 METODOLOGIA ..... 27

3.1 Modelos de Equilíbrio Geral Computável ..... 27

3.2 Modelo EPPA ..... 29

3.2.1 Estrutura de equilíbrio do modelo ..... 32

3.2.2 Comportamento dos agentes ..... 33

3.2.3 Funções de produção ..... 34

3.2.4 Comércio internacional ..... 39

3.2.5 Consumo ..... 39

3.2.6 Emissões de gases de efeito estufa ..... 41

3.2.7 Fechamento do modelo ..... 42

3.2.8 Dinâmica do modelo ..... 42

4 CENÁRIOS SIMULADOS ..... 51

4.1 Cenário 1 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2020 ..... 51

4.2 Cenário 2 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2090 ..... 52

4.3 Cenário 3 – Pré-sal como tecnologia backstop no EPPA ..... 53

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 57

5.1 Cenário 1 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2020 ..... 57

5.1.1 Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo ..... 57

5.1.2 Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa ..... 59

5.1.3 Impactos ambientais ..... 60

5.2 Cenário 2 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2090 ..... 62

5.2.1. Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo ..... 62
5.2.2. Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa ..... 65
5.2.3. Impactos ambientais ..... 71
5.3 Cenário 3 – Pré-sal como tecnologia backstop no EPPA ..... 72
5.3.1 Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo ..... 72
5.3.2 Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa ..... 76
5.3.3 Impactos ambientais ..... 80
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 82
REFERÊNCIAS ..... 85
APÊNDICE A - CALIBRAÇÃO ENTRE O CENÁRIO 2 SIMULADO E A PROJEÇÃO ..... 93
APÊNDICE B – VARIAÇÃO DAS EXPORTAÇÕES E IMPORTAÇÕES SETORIAIS ENTRE O CENÁRIO 2 E BAU ..... 94
APÊNDICE C – VARIAÇÃO DAS EXPORTAÇÕES E IMPORTAÇÕES SETORIAIS ENTRE O CENÁRIO 3 E BAU ..... 98
APÊNDICE D – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE ..... 102
ANEXO A – MAPEAMENTO DE SETORES E REGIÕES DO GTAP PARA O EPPA ..... 107
ANEXO B – A ÁLGEBRA DO MODELO EPPA ..... 109

# 1 INTRODUÇÃO

O setor petrolífero possui importância estratégica para a economia de um país. Como a energia é um insumo utilizado em todos os outros setores, a indústria energética se torna um mercado formador de preços, no sentido em que afeta o preço de outros setores. Além disso, o petróleo está presente em praticamente todas as etapas da cadeia produtiva e seu abastecimento tem sido, ao longo do tempo, objeto de segurança nacional.

A produção nacional de petróleo[1] foi de 2.772 mil barris de óleo equivalente (Mil boe) /dia em 2011 e a projeção para 2020 é de que a produção seja mais do que duplicada, sendo o pré-sal responsável por cerca de 40,5% da produção projetada para 2020 (PETROBRAS, 2011).

As reservas de petróleo e gás natural do pré-sal estimadas são de 50 a 70 bilhões de barris de petróleo equivalente, e se provadas, mais que quintuplicariam as reservas de 2010, o que tornaria o país um dos dez maiores países com reservas de petróleo do mundo (SEFAZ-RJ, 2010). A extensão da viabilidade comercial do pré-sal brasileiro é ainda desconhecida e a sua real produção dependerá do preço do petróleo nos próximos anos, de elevados investimentos e do esforço do país em diminuir as emissões de $CO_2$ associadas à produção e refino de petróleo (SEFAZ-RJ, 2010).

Para que essas estimativas se concretizem, o volume de investimentos em formação bruta de capital fixo será alto. Só a Petrobras prevê investir cerca de US$ 67 bilhões de 2012 a 2016 para o desenvolvimento e exploração do pré-sal (PETROBRAS, 2012).

De acordo com o ministério de Minas e Energia (Brasil, 2009c), a União não fará investimentos diretamente na extração de petróleo da camada Pré-Sal, mas como possui participação acionária na Petrobras (39,8% do capital social, levando-se em conta o BNDESPAR e 55,7% das ações ordinárias), possui a proposta de capitalização da empresa para dotá-la dos recursos necessários para a exploração das áreas do Pré-Sal. Essa capitalização se dará por cessão onerosa da União à Petrobras de 5,0 bilhões de barris de óleo equivalente intransferíveis. O valor definido pelo governo em Setembro de 2010 foi de US$ 8,51 por barril de petróleo. Também foi aprovada a participação do BNDES e da Caixa Econômica Federal na capitalização, acionistas da Petrobras (BBC, 2010).

[1] Não inclui parcela de produção internacional não consolidada

Este expressivo aumento de reservas petrolíferas do país a partir do pré-sal também impactará a balança comercial do setor, tornando o país um exportador líquido não só de petróleo, mas também de derivados com expectativa de atingir em 2020 um volume exportado de petróleo de cerca de 3 milhões de barris por dia (EPE, 2011).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (Brasil, 2009c), as descobertas das reservas na área do pré-sal provocaram também mudanças no marco regulatório. O regime de exploração de petróleo passou, em 2009, do modelo de concessão para o de partilha de produção. Contudo, os blocos já licitados anteriormente ao novo marco regulatório permanecem no modelo antigo de concessão. No novo modelo de partilha, o Estado e as empresas dividem a produção e a União pode contratar a Petrobras (numa fatia mínima de 30% por bloco) ou empresas privadas por meio de licitações. A União é representada nesse novo regime pela estatal Petro-Sal.

O vencedor da licitação será a empresa que oferecer um maior percentual de produção à União. Já a Petro-Sal não realizará atividades operacionais nem investimentos diretos, mas participará dos comitês que decidem as atividades dos consórcios, possuindo poder de veto. O governo justificou o novo marco regulatório pelo fato do pré-sal ser considerado um negócio de alto potencial e baixo risco para os investidores.

Ainda, o choque esperado de produção de petróleo a partir do pré-sal inspira atenção já que na literatura encontram-se evidências empíricas consideráveis, mas não conclusivas, de uma correlação negativa entre abundância de recursos naturais e crescimento econômico (ROSSER, 2006). Uma das proposições explicativas a respeito dessas evidências é conhecida como doença holandesa, nome cunhado à caracterização dos efeitos econômicos na Holanda após a descoberta de jazidas altamente rentáveis de gás natural na década de 60 que levou a uma apreciação da moeda e prejuízos para a indústria local (HADDAD; GIUBERTI, 2011).

A doença holandesa implica em uma mudança estrutural na economia devido ao crescimento no setor de recursos naturais. O aumento da entrada de receitas no setor de recursos naturais causa uma apreciação da taxa de câmbio real, o que diminui as exportações e o crescimento de outros setores comercializáveis. Essa mudança estrutural na taxa de câmbio seria indesejada, pois reduz a capacidade de crescimento econômico após o choque. Assim sendo, o mecanismo da doença holandesa causa efeitos de equilíbrio geral, o que tornam os modelos de equilíbrio geral computável (*Computable General Equilibrium* -

CGE) adequados para a análise dos impactos do pré-sal na economia brasileira. (HADDAD; GIUBERTI, 2011).

Para lidar com o risco de doença holandesa, o governo brasileiro propôs a criação do Fundo Social, uma poupança pública de longo prazo, constituída com base nos rendimentos auferidos pela União, com o objetivo de fornecer recursos para o desenvolvimento social e reduzir os impactos macroeconômicos decorrentes da variação de renda causada pelas atividades petrolíferas. O Fundo Social prevê a realização de investimentos no Brasil e no exterior para evitar a entrada em demasia de dólares no País, por causa da exportação de petróleo, evitando uma valorização significativa do Real.

O governo propôs também atrelar a exploração do pré-sal ao desenvolvimento da indústria nacional, exigindo um conteúdo local mínimo para os contratados no modelo de partilha, sendo para isso instituído o Prominp - Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia.

Outro aspecto importante relacionado ao aumento de produção de petróleo esperado se dá em relação ao aumento de emissões de gases de efeito estufa associados. Isso é preocupante já que o aquecimento global foi relacionado, pelo *Intergovernamental Panel on Climate Change* – IPCC (2007), ao aumento antropogênico das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, sendo que a combustão de fontes energéticas fósseis é a principal fonte de emissão de $CO_2$ em escala global. Mesmo no caso brasileiro, em que a principal fonte de emissões não provém das fontes energéticas e sim da mudança no uso da terra[2], parece haver um descompasso entre a política climática brasileira de diminuição das emissões e o incentivo à exploração do pré-sal, que além de possuir uma reserva estimada considerável ainda possui associado aos seus campos petrolíferos uma concentração de gás carbônico maior que os outros campos petrolíferos brasileiros (Lima, 2009).

Diante do esperado aumento de investimentos e produção de petróleo a partir da exploração das reservas do pré-sal, é importante investigar quais são os possíveis impactos sobre a economia brasileira? Como o aumento na produção e exportação de petróleo deverão afetar o produto e a renda no país? Qual será o efeito sobre o bem-estar do consumidor representativo? Existe o risco de apreciação cambial e doença holandesa? Os investimentos no desenvolvimento da exploração e produção do pré-sal é o mais desejável do ponto de vista

[2] Principalmente a conversão de florestas para fins agropecuários.

da alocação de recursos escassos? E quanto às emissões de gases de efeito estufa no país, esse choque produtivo de pré-sal provocará alterações?

O objetivo desse trabalho é então estudar os impactos macroeconômicos e setoriais, incluindo a possibilidade de doença holandesa, bem como os impactos ambientais, associados ao aumento da produção de petróleo a partir da exploração do pré-sal. Utiliza-se um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico, capaz de projetar não só o aumento da produção de pré-sal na economia brasileira no médio prazo, mas também considerar os efeitos de longo prazo, incluindo o período de depleção das reservas petrolíferas projetado para depois do pico de produção.

Além dessa introdução, esse trabalho é composto por uma segunda seção contendo uma revisão bibliográfica sobre a importância econômica da indústria de petróleo, sobre a maldição dos recursos naturais, principalmente sobre a doença holandesa, sobre os impactos ambientais associados a um aumento de produção de petróleo e uma breve contextualização sobre a politica climática brasileira atual. Essa revisão bibliográfica também focará em estudos que analisaram choques produtivos de recursos naturais e petróleo utilizando uma modelagem de equilíbrio geral computável e finaliza expondo estudos que também utilizam essa metodologia para o choque específico do pré-sal. Em seguida, está a terceira seção, onde se descrevem os modelos de equilíbrio geral, focando nas características e descrição do modelo EPPA utilizado nesse estudo. Na quarta seção, as hipóteses assumidas na construção dos três cenários a serem estudados são explicitadas, seguida pela quinta seção em que os resultados de cada cenário são analisados quanto aos impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo, impactos setoriais e sintomas de doença holandesa, e impactos ambientais. Por fim, na sexta seção expõem-se as considerações finais.

# 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Importância da indústria do petróleo

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos sobre a importância econômica da indústria de petróleo, de tal forma que não se pretende aqui realizar uma pesquisa exaustiva sobre o tema, mas sim focar em aspectos econômicos mais relevantes para o presente estudo.

A indústria energética impacta profundamente o desenvolvimento de um país, pois é um mercado formador de preços, no sentido em que afeta o preço de outros setores, já que está presente em todas as etapas da cadeia produtiva. Além disso, existe uma elasticidade positiva entre consumo energético e renda. A indústria possui também papel relevante na formação bruta de capital fixo de um país pelos investimentos realizados no setor. Segundo Canelas (2007), o comércio internacional do setor energético afeta também o equilíbrio da balança comercial do país e esse efeito, juntamente com o impacto inflacionário, é o de maior impacto do setor na economia brasileira.

Segundo Giambiagi e Vilela (2005), como a distribuição de recursos naturais é globalmente desigual, o comércio internacional do setor energético é de grande importância para o equilíbrio da balança comercial dos países, devido ao peso que as importações de petróleo têm para muitos países.

A importância do petróleo e seus derivados na oferta de energia é significativa. Dados de 2007 mostram que esses foram responsáveis por 37,4% da oferta de energia no Brasil, 40,6% nos países da OECD e 35% no mundo nesse ano (VICHI; MANSOR, 2009). De acordo com as previsões da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE, 2008) até 2030 o petróleo ainda será a principal fonte energética do mundo. Além da importância do petróleo como fonte de energia, existem frações de petróleo que atuam como insumos na indústria química e são de difícil substituição. Canelas (2007) destaca que o petróleo é um insumo de difícil substituição na matriz energética e seus derivados possuem demanda pouco sensível ao preço no curto prazo. Assim, a disponibilidade de petróleo e seus derivados são fatores de forte influência para a determinação do nível de crescimento econômico e do nível de preços das economias nacionais.

A literatura sobre a importância econômica do setor para o país é vasta, cabendo no contexto deste trabalho destacar o estudo de Aragão (2005), que estimou a contribuição do

setor de petróleo brasileiro[3] em 8,11% ao PIBpm[4] em 2004. Considerando a importância econômica do setor e seu crescimento consistente no país, o estudo sobre impactos de choques produtivos petrolíferos se mostra bastante relevante.

Canelas (2007) estudou os impactos diretos da indústria de petróleo e gás natural no Brasil para as variáveis macroeconômicas tradicionalmente utilizadas nas análises de conjuntura econômica: PIB, investimento, balança comercial, investimento externo direto, emprego, massa salarial, arrecadação tributária e inflação. O autor constatou para o intervalo 1997-2005 uma tendência de taxa de crescimento, em termos volumétricos, da produção de petróleo, gás e derivados, maior que a taxa de crescimento do PIB real brasileiro. Evidenciou-se na análise a tendência de substancial elevação do volume de investimentos no setor em termos reais no período analisado.

O autor apontou os esforços prospectivos em Exploração e Produção (E&P) e a redução de demanda de derivados de petróleo (devido a programas como o Proálcool) como responsáveis pela queda na dependência externa no período. É importante salientar que esse trabalho estudou um período em que as reservas de pré-sal ainda não haviam sido anunciadas pela Petrobrás e, conforme discutido na seção de Introdução, as reservas previstas de pré-sal possuem potencial para tornar o Brasil um exportador líquido de petróleo e gás natural.

Canelas (2007) reportou também um significativo aumento do fluxo anual de investimento externo direto no segmento no período e apontou como principais causas desse crescimento a abertura da indústria brasileira de petróleo a investimentos de outras companhias que não a Petrobras, associada à abertura da economia brasileira e ao aumento de fluxo de investimentos e comerciais no país no período. Em relação à variável emprego, não se levando em conta os efeitos em cadeia, o impacto do setor petrolífero é muito menor que seu impacto em outras variáveis, sendo o mesmo responsável em 2003 por apenas 0,27% da participação relativa do pessoal ocupado. O autor afirma que não é possível concluir com base nos estudos quantitativos realizados, se o impacto do aumento da produtividade do trabalho na cadeia de petróleo, que tende a diminuir a geração de emprego na cadeia, principalmente em E&P, é contrabalanceado pelo efeito que esse aumento de produtividade tem em diminuir os custos de produção, aumentando a rentabilidade e influenciando a expansão da produção, o que poderia compensar a perda líquida de empregos.

---

[3] O setor de petróleo neste estudo abrange a exploração e produção, o refino de petróleo, o processamento de gás e a comercialização de combustíveis.
[4] PIBpm: PIB a preço de mercado.

Em geral, esse setor é altamente tributado e na análise realizada por Canelas (2007), que não incluiu outras formas de arrecadação não tributárias como os royalties e as participações especiais, houve um aumento médio anual de 19,09% na arrecadação tributária do setor, contra 13,95% de crescimento da arrecadação tributária brasileira no mesmo período. Para a determinação da participação da indústria de petróleo e gás na inflação, o autor utilizou o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) sendo que o setor petrolífero era responsável por 7,2% da composição do índice em 2005. O autor salienta que, além da contribuição direta ao índice inflacionário, relacionada ao seu consumo por parte de consumidores finais, as variações dos preços de derivados de petróleo têm um alto impacto para formação dos demais preços, pois são insumos utilizados em todo o processo produtivo.

## 2.2 Maldição dos recursos naturais e doença holandesa

Como o presente trabalho pretende estudar os impactos de um futuro choque de oferta de petróleo na economia brasileira, é de vital importância se aprofundar na literatura sobre os conceitos de maldição dos recursos naturais e de doença holandesa. A literatura traz evidências significativas, mas não conclusivas, de que a abundância de recursos naturais está associada com resultados econômicos negativos (ROSSER, 2006).

Rosser (2006), ao estudar a literatura sobre o tema, atesta que antes do fim da década de 80 o pensamento dominante era de que a abundância de recursos naturais representava uma vantagem para o desenvolvimento e industrialização de um país, mas que, desde então, há um número significativo de pesquisadores contestando esse pensamento e sugerindo que a abundância de recursos naturais aumenta a probabilidade de má performance industrial e econômica. Sachs e Warner (1995) reportaram evidências de uma correlação negativa entre abundância de recursos naturais e crescimento econômico e esses resultados foram suportados por outras pesquisas como as realizadas por Sachs e Warner (1997), Leite e Weidmann (1999), Auty (2001), Neumayer (2004) e Gylfason (2004).

Há ainda evidências de que as instituições governamentais possuem um papel decisivo na prevenção da maldição dos recursos naturais (ROSSER 2006). Essa visão também é expressa por Mehlum, Moene e Torvik (2006), que defendem que o modo como as instituições atuam é mais determinante que a abundância de recursos naturais em si.

Gylfason (2004) identificou cinco canais por meio dos quais a dependência de recursos naturais pode prejudicar o crescimento econômico. O primeiro canal é o de doença

holandesa. De acordo com o autor, a expansão do setor de recursos naturais exportados causa instabilidade na taxa de câmbio e essa incerteza pode ser prejudicial para a exportação e comércio internacional de outros setores e também ao investimento estrangeiro no país. Doença holandesa tende também a reduzir o nível total de exportações do país, ou fazer com que o viés de composição das exportações se afaste de bens e serviços intensivos em alta tecnologia ou de manufaturados com alto valor agregado, e isso é potencialmente prejudicial ao crescimento.

Um segundo canal é descrito para países com deficiências no sistema legal e de direito e instituições fracas. Segundo o autor, a expansão de recursos naturais pode também incentivar o comportamento *rent seeking* pelos grupos detentores do poder político, deslocando os recursos dos setores de maior impacto social, podendo aprofundar a má distribuição de renda e riquezas e também o aumento de corrupção, o que compromete o crescimento futuro.

Um terceiro canal se dá já que a dependência dos recursos naturais pode também reduzir os incentivos públicos e privados a uma maior acumulação de capital humano devido ao aumento do nível de renda não salarial, o que pode comprometer a educação e a capacidade futura de crescimento.

O autor descreve um quarto canal, em que a abundância de recursos naturais pode ocasionar a diminuição dos incentivos à poupança e investimento público, e retardar o desenvolvimento de instituições financeiras em países em desenvolvimento.

Por último, o autor discute um quinto canal através do relato de evidências empíricas de uma correlação negativa entre essa abundância e profundidade e maturidade financeira do país.

Para o caso brasileiro de expansão projetada de recursos petrolíferos a partir do pré-sal, a maior preocupação é relacionada à doença holandesa. Esse termo foi cunhado em referências aos efeitos negativos sobre o setor manufatureiro holandês depois das descobertas de reservas de gás natural na década de 60, especialmente relacionados à sobre-apreciação do câmbio real naquele país que se seguiu ao aumento das exportações do setor de gás natural (CORDEN, 1984).

Doença holandesa foi definida por Bresser-Pereira (2008) como a sobre-apreciação crônica da taxa de câmbio causada pela abundância de recursos naturais, levando a um nível

de taxa de câmbio inferior àquele que viabilizaria as demais indústrias de bens comercializáveis. O autor a caracteriza também como um obstáculo do lado da demanda ao inviabilizar investimentos mesmo quando as empresas dominam as respectivas tecnologias.

Bresser-Pereira (2008) atestou de forma mais geral que a doença holandesa ocorre quando há divergência entre a taxa de equilíbrio corrente, que é a taxa determinada pelo mercado que equilibra intertemporalmente a conta corrente do país, e a taxa de câmbio de equilíbrio industrial, que viabiliza setores industriais utilizando tecnologia no estado da arte.

A doença holandesa, segundo o autor, é uma falha de mercado grave, decorrente da existência de rendas ricardianas associadas à produção e exportação de um número limitado de bens produzidos com aqueles recursos naturais, que se não for neutralizada, constitui obstáculo fundamental ao crescimento econômico.

Esse efeito de desindustrialização foi primeiramente estudado por Corden e Neary (1982) e Corden (1984). O primeiro artigo desenvolveu o modelo básico para uma pequena economia aberta. O objetivo era realizar uma análise sistemática das mudanças estruturais causadas por um choque no setor de *boom* (setor em expansão associado geralmente a recursos naturais) sobre o tamanho e rentabilidade do setor de bens comercializáveis (setor *lagging* – setor que cresce mais lentamente que o setor em expansão e enfrenta competição internacional). Há ainda no modelo um terceiro setor de não comercializáveis (normalmente o setor de serviços). Cada setor possui fatores produtivos específicos e o trabalho como fator móvel. O choque foi admitido como um aprimoramento tecnológico *once-for-all* Hicks-neutral que causa um aumento na remuneração agregada dos fatores utilizados no setor em expansão. Isso acarreta outros dois efeitos: o *spending effect*, causado pela parcela da renda extra do setor em expansão utilizada no setor de não comercializáveis. Como há uma maior demanda por bens e serviços não comercializáveis, há um aumento do preço relativo destes, o que pressiona a apreciação cambial real; e o *resource movement effect*, caracterizado pelo aumento da demanda do fator móvel no setor em expansão acompanhado pelo aumento da sua remuneração, o que acarreta um deslocamento do fator móvel de outros setores da economia para o setor em expansão, tendendo a reduzir o produto do setor *lagging* e causando desindustrialização.

O segundo artigo expandiu o modelo básico para estudar casos específicos. Um primeiro caso é caracterizado por, além de assumir mobilidade do fator trabalho entre os setores, também considerar mobilidade de capital entre o setor *lagging* e o de não

comercializáveis. Um segundo caso considerado, consistia na divisão do setor de *lagging* em dois setores: um intensivo em capital e outro em trabalho. Um terceiro caso admitia algum grau de mobilidade do capital internacionalmente. Um quarto caso considerou imigração nesse contexto. Um quinto caso relaxou a hipótese de economia pequena e dividiu o setor *lagging* especificamente quanto à exportação e importação. Além disso, há considerações adicionais sobre a absorção doméstica de parte da produção do setor de *boom*, desemprego clássico, desemprego keynesiano, efeitos da dinâmica e uma discussão sobre a proteção do setor de *lagging* no contexto de doença holandesa.

Percebe-se então que há na literatura econômica corrente, diversos trabalhos acadêmicos sobre o crescimento de setores baseados na extração de recursos naturais e o fenômeno da doença holandesa. Essa literatura servirá de arcabouço teórico para o estudo dos impactos setoriais do choque do pré-sal nesta dissertação.

### 2.3 Impactos ambientais do petróleo e política climática brasileira

Além de toda essa discussão, outra importante questão refere-se à preocupação ambiental quanto ao aumento da produção e consumo de fontes energéticas fósseis e as emissões de gases de efeito estufa associadas.

Lima (2009) salienta que o aquecimento global foi relacionado, pelo IPCC (2007), ao aumento antropogênico das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, sendo que a combustão de fontes energéticas fósseis é a principal fonte de emissão de $CO_2$ em escala global.

Devido aos riscos de diversos impactos negativos da elevação da temperatura sobre as sociedades, como mudanças na produtividade agrícola, aumento na incidência de eventos climáticos extremos, alterações nos padrões de precipitação e pluviosidade, entre outros, diversas nações estão discutindo, nacional e internacionalmente, a implementação de políticas visando reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O Brasil é um dos países preocupado com o tema, a ponto de ter se comprometido nos fóruns internacionais com esforços voluntários de redução de emissões, denominados de metas de Copenhague.

É importante ressaltar que na descrição da política climática brasileira, no Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Brasil, 2009a) é destacada a reduzida contribuição brasileira para as emissões globais tanto em relação às emissões per capita quanto às emissões por área. Mas ressalta-se neste mesmo documento o compromisso

brasileiro em buscar uma dinâmica econômica cuja trajetória de emissões não repita o modelo dos países que já se industrializaram no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa através de duas vertentes principais: a questão de mudanças no uso da terra[5] e o aumento da eficiência no uso de recursos naturais brasileiros.

Mesmo tendo em mente o fato de que a queima de combustíveis fósseis não é tão impactante no cenário ambiental brasileiro quanto para o resto do mundo, percebe-se um desalinhamento entre a politica climática brasileira de diminuição das emissões e o incentivo à exploração do pré-sal. O cenário merece atenção, já que, além do fato das reservas de pré-sal estimadas serem expressivas, há também a questão de que as concentrações de $CO_2$ no gás associado aos campos do pré-sal são muito maiores que as concentrações em outros campos petrolíferos brasileiros (Lima, 2009).

### 2.4 Estudo de choques produtivos de petróleo e recursos naturais e doença holandesa – modelos CGE

A literatura sobre o tema de abundância de recursos naturais e doença holandesa sugere que, ao estudar choques produtivos de petróleo ou de recursos naturais abundantes, é importante se atentar aos impactos macroeconômicos, ambientais e setoriais, incluindo a possibilidade de doença holandesa. Como esse estudo utilizará uma metodologia de equilíbrio geral computável, procurou-se nessa seção destacar alguns trabalhos correlacionados que utilizaram modelos CGE e na próxima seção os trabalhos recentes sobre o uso dessa modelagem para o caso especifico do pré-sal.

Destacam-se nessa literatura, a análise de Barry (2009) sobre os efeitos macroeconômicos dos investimentos externos na extração e produção de gás natural no Uzbequistão, e a investigação de Bandara (1991) que utilizou um modelo CGE para estudar as causas dos efeitos de doença holandesa.

Barry (2009) buscou estimar o impacto de um investimento externo de $400 milhões, esperados pelo governo do Uzbequistão sobre o setor de gás natural e constatou um aumento da produção e riqueza associadas ao setor de gás natural. Além disso, obteve evidências de possíveis sintomas de doença holandesa. A ferramenta empírica utilizada foi uma versão do GTAP com 10 setores, 8 regiões e 5 fatores de produção.

---

[5]O Brasil, ao contrário dos países em que a principal fonte de emissão de $CO_2$ é o uso energético de combustíveis fósseis, possui como principal fonte a mudança no uso da terra, principalmente a conversão de florestas para fins agropecuários.

Bandara (1991) usou uma versão agregada de um modelo CGE, com apenas três setores, para investigar as possíveis causas para os efeitos descritos pelo mecanismo de doença holandesa. Para isso analisou três choques: um aumento da eficiência tecnológica (tecnologia Hicks-neutral) do setor exportador, um aumento na entrada de capital externo e um aumento no preço da commodity exportada. Para tornar os choques equivalentes e analisar a importância de cada um, ajustou a magnitude das variáveis exógenas relevantes para que cada choque aumentasse o salário em 10%. O primeiro choque produziu efeitos de desindustrialização. O segundo choque produziu efeitos de *resource movement* através da expansão do setor não comercializável via *spending effect*. O terceiro choque produziu resultados similares ao primeiro. As três simulações produziram ainda impacto negativo sobre o produto do setor *lagging* e apreciação da taxa de câmbio real. O autor salienta que esses resultados se sustentam considerando as premissas assumidas, entre as quais: elasticidade de substituição entre bens domésticos e importados relativamente alta, não utilização de insumos intermediários na produção e pleno emprego.

Ainda é interessante destacar o trabalho de Hogan e Naughten (1990) devido ao seu estudo sobre um declínio da produção de petróleo na Austrália. Esse estudo é interessante para as análises de declínio de produção de petróleo que também serão estudadas nesta dissertação. Os autores estabelecem uma literatura teórica sobre os efeitos macroeconômicos e setoriais decorrentes de uma depleção de petróleo na Austrália e depois utiliza o modelo CGE Orani para simular esse cenário no curto prazo. Descrevem que uma redução na produção de petróleo acarretaria no aumento das importações de petróleo bruto e em uma redução da produção e renda nacional forçando uma diminuição na demanda por bens não comercializáveis implicando em uma depreciação cambial real. Os autores simulam o declínio da produção de petróleo através de um choque tecnológico negativo. Considera-se que o fator trabalho é móvel e há possibilidade de desemprego, mas não se considera mobilidade de capital. O autor observa, entre outros resultados, um modesto impacto negativo no PIB e no nível de emprego. Setorialmente, o autor observou um aumento das importações de petróleo refinado e um impacto na produção e no nível de emprego variado nas 112 desagregações de setores econômicos.

Percebe-se por essa análise da literatura corrente que o arcabouço de modelagem CGE tem sido aplicado para investigar questões relacionadas a choques produtivos de petróleo e abundância de recursos naturais. No Brasil, a literatura é mais reduzida, valendo a pena destacar o trabalho de Oliveira, et al. (2011), que estudou através de um modelo CGE os

impactos macroeconômicos de investimentos na cadeia de petróleo brasileira. Ainda, é interessante notar que estudos sobre um setor competidor do setor de petróleo, o de biocombustíveis, têm esbarrado, por vezes acidentalmente, na questão da doença holandesa, sendo, portanto, pertinente para o tema. Esses estudos incluem Giesecke, Horridge e Scaramucci (2007), que investigaram os impactos regionais e industriais de um rápido aumento do consumo e exportação de etanol brasileiro utilizando um modelo CGE multi-regional; e Lima (2011), que ao estudar o impacto na economia brasileira de políticas de mitigação de emissões poluentes no cenário internacional através do modelo CGE EPPA, constatou que um aumento na produção e exportação de etanol de segunda geração no longo prazo gera sintomas similares ao de doença holandesa.

Oliveira, et al.(2011) estudaram o efeito de um choque de 100% de variação do investimento nos setores de petróleo, gás e produtos de refino através do modelo de equilíbrio geral computável Orani-G, calibrado para a matriz de contabilidade social nacional de 2004. Os autores descrevem que o choque causa no curto prazo um aumento da demanda por trabalho e como o emprego total é fixado exogenamente, isso provoca um aumento dos salários nominais. Essa elevação expande a restrição orçamentária das famílias impulsionando o consumo nominal. E embora haja alteração no dispêndio das famílias, o consumo total real não se altera já que há um aumento dos preços dos bens de consumo por causa da expansão da economia na presença de curvas de oferta positivamente inclinadas.

Salientam ainda que, como os choques são realizados em setores que são muito mais capital intensivos do que trabalho intensivos, há uma elevação da taxa de investimento nominal sobre o consumo nominal. Os preços dos bens de investimento sobem devido ao aumento da demanda por estes bens no curto prazo (associado a uma capacidade instalada fixa e uma oferta positivamente inclinada). Os preços dos bens exportáveis também aumentam no curto prazo porque há uma elevação da demanda doméstica. Como todos os índices de preços aumentam, também aumenta o índice geral de preços. E como há uma elevação dos preços das exportações enquanto os preços das importações permanecem fixos, há uma melhoria dos termos de troca. Os autores também ressaltam que, como o consumo real se mantém fixo enquanto os investimentos aumentam, o consumo nominal como parcela do PIB diminui. Oliveira, et al. (2011) concluíram que há indícios de doença holandesa na medida em que o volume de exportação diminui por causa da valorização cambial, permanecendo tudo o mais constante.

Giesecke, Horridge e Scaramucci (2007) utilizaram um modelo CGE com 51 indústrias e 83 commodities para investigar os impactos de um aumento do consumo e exportação do etanol brasileiro em 2020. Assumiram que os choques de demanda de etanol não influenciariam a taxa de desemprego nacional (taxa de ocupação nacional é considerada exógena), e que o estoque de capital industrial se ajusta livremente. Os autores relataram um reduzido impacto de apreciação cambial real criando um fraco efeito de doença holandesa (contração no produto das indústrias mineradoras e no setor de manufatura). Os autores salientam ainda que a magnitude desses efeitos é pequena devido à pequena porcentagem da produção de etanol destinada ao mercado externo.

Lima (2011) utilizou o modelo CGE EPPA para estudar os impactos de políticas climáticas. Concluiu que um aumento na produção e exportação de etanol brasileiro de segunda geração, no longo prazo, causaria um impacto negativo sobre o PIB e sobre o bem-estar do consumidor representativo, em relação a um cenário sem o etanol de segunda geração. Essa especialização na produção drenaria recursos de outros setores, diminuindo a produção destes e aumentando a dependência de importações. Conclui que a produção de biocombustível para atender a necessidade dos países desenvolvidos por combustíveis renováveis se coloca como uma armadilha ao crescimento econômico, pois há um aproveitamento dos recursos econômicos disponíveis para suprir consumidores estrangeiros, em detrimento do consumo interno e do investimento, deprimindo o nível de atividade de outros setores e prejudicando os termos de troca.

### 2.5 Choque produtivo do pré-sal – modelos CGE

Nessa seção procurou-se referenciar estudos que utilizaram a modelagem CGE para o caso específico do choque produtivo do pré-sal. Destacam-se os trabalhos de Beiral e Santos (2010) que estudaram os impactos do crescimento de produção de petróleo no Brasil devido ao pré-sal sobre o setor sucroalcooleiro (produção e consumo de etanol) e sobre variáveis macroeconômicas através do modelo de equilíbrio geral estático ORANI-G; Haddad e Giuberti (2010) que analisaram o impacto econômico do pré-sal sobre a região do Espírito Santo através do modelo estático CGE inter-regional BMES, e Magalhães e Domingues (2012) que estudaram o impacto do pré-sal na estrutura da economia brasileira através do modelo de equilíbrio geral computável dinâmico GDyn.

Beiral e Santos (2010) utilizaram o modelo estático ORANI-G calibrado com dados da Pesquisa Nacional por Amostragens de Domicílios – PNAD do IBGE para 2004. O modelo

conta com uma desagregação de 71 indústrias e 71 produtos. Os autores simularam o choque do pré-sal através de aumento do estoque de capital do setor de produção de petróleo e gás e do setor de refino para simular o aumento de produção projetada para 2020. Para reproduzir essa projeção foi necessário um aumento do estoque de capital do setor de produção de petróleo e gás de 134% e de 262% do setor de refino. Os autores concluíram que, sob a ótica do dispêndio houve uma queda de aproximadamente 1,9% da participação das importações no PIB, um aumento das exportações no PIB em cerca de 3,1% e um aumento no investimento de aproximadamente 7,2%. Houve um aumento do volume de exportações e importações com um pequeno impacto positivo sobre a balança comercial em relação ao PIB. Os autores também relataram uma pequena valorização da taxa real de câmbio devido às exportações de petróleo. Quanto aos efeitos setoriais os autores relataram uma queda na demanda por exportações dos setores agroindustriais e alimentícios, mas também uma elevação na demanda por exportações dos setores mais industrializados, o que não era esperado pelos autores.

Haddad e Giuberti (2010) utilizaram o modelo CGE BMES, um modelo inter-regional para o Brasil que considera duas regiões: o estado do Espírito Santo e o resto do país e possui custos de transporte espacialmente especificados. O modelo possui 55 setores e 110 bens. O modelo foi calibrado para 2004 com base em dados do IBGE e FIPE-USP. A estratégia de simulação foi considerar uma melhora na tecnologia (Hicks-neutral) no setor de petróleo e gás natural do Estado do Espírito Santo que aumentasse sua produtividade proporcionalmente ao aumento esperado da produção em 2013. Os autores analisaram dois cenários, no primeiro o trabalho era móvel somente entre setores da mesma região e no segundo cenário era móvel também entre regiões. Em ambos o estoque de capital permaneceu fixo. Os resultados mostram que os setores não comercializáveis foram os que mais se beneficiaram e os setores *lagging* os mais prejudicados em relação à atividade industrial. Analisando setor a setor, os que tiveram o maior aumento de produção são os que possuíam uma maior porcentagem de importações na sua estrutura de custo. O emprego industrial se moveu na mesma direção da produção. Os autores concluíram que houve um processo de desindustrialização da economia regional do Espirito Santo a partir do pré-sal. Os autores relataram um impacto positivo no PIB real brasileiro e que a maior diferença entre os dois cenários se deu no *spending effect*, que foi maior no segundo cenário.

Já Magalhães e Domingues (2012) utilizaram o modelo dinâmico GDyn, uma versão dinâmica do GTAP que incorpora mobilidade internacional do capital, acumulação de capital

e teoria de expectativas adaptativas dos investimentos, para estimar os impactos do pré-sal na economia brasileira até 2020. O modelo é calibrado para o ano de 2007 através da base de dados do GATP. Os autores utilizaram uma agregação de 7 regiões e 32 produtos. Os autores utilizaram uma projeção da EPE até 2020 para simular o choque do pré-sal, calibrando um aumento uniforme na oferta de recursos naturais do setor de 2010 a 2020 de forma que a produção do setor atingisse as projeções. Os autores obtiveram um impacto positivo sobre o PIB devido principalmente ao aumento de investimentos e das exportações. Setorialmente, obtiveram resultados heterogêneos com alguns setores sendo impactados positivamente na produção (incluindo o setor de serviços) e outros impactados negativamente, e que perderam participação na pauta de exportações de maneira semelhante à descrita pelos mecanismos de doença holandesa.

Percebe-se que a literatura sobre o pré-sal no Brasil é recente e ainda necessita de maiores desenvolvimentos, apesar dos estudos que buscam avaliar os impactos econômicos do choque do pré-sal e de aumentos na produção de petróleo descritos até aqui. Dessa forma, a presente dissertação contribui com a literatura ainda escassa através de aspectos que foram pouco explorados ou ainda não foram investigados, como a análise do impacto sobre o bem-estar do consumidor representativo e das demandas setoriais por capital e trabalho após o choque, o que permite uma análise mais completa dos mecanismos de doença holandesa e desindustrialização. Além disso, essa dissertação contribui para a literatura pelo esforço pioneiro em estudar a trajetória de impacto de longo prazo que leva em consideração não só o aumento da produção do pré-sal, mas também o declínio da produção após o pico, além de testar a modelagem do setor do pré-sal como um uma nova tecnologia, abordagem que evita o uso de choques de produtividade e/ou de oferta. Por último, pretende-se considerar a mensuração dos impactos ambientais de emissões de gases de efeito estufa a partir do desenvolvimento do pré-sal.

# 3 METODOLOGIA

A fim de investigar os impactos do choque do pré-sal sobre a economia brasileira, será utilizado o modelo dinâmico-recursivo de equilíbrio geral computável *Emissions Prediction and Policy Analysis* – EPPA (Paltsev et al. 2005), desenvolvido especificamente para o estudo de políticas energéticas e climáticas.

A próxima seção trata do conceito de Modelos de Equilíbrio Geral Computável e a seguinte do modelo EPPA. Ambas são baseadas nos trabalhos de Paltsev et al. (2005), Lima (2011), Gurgel (2011) e EBC (2012) e maiores detalhes podem ser encontrados nesses estudos.

## 3.1 Modelos de Equilíbrio Geral Computável

Modelos de equilíbrio geral representam uma economia real complexa e são úteis em auxiliar na identificação de efeitos de equilíbrio geral causados por mudanças exógenas, que não seriam facilmente identificados a priori por sua complexidade ou por relações inesperadas e pouco óbvias (PIERMARTINI; TEH, 2005). O uso desses modelos permite concluir sobre direções e magnitudes relativas de choques exógenos, bem como comparar cenários alternativos. A análise dos resultados do modelo permite identificar relações entre setores e agentes econômicos, que poderiam não ser identificadas em modelos teóricos ou analíticos.

Shoven e Whalley (1998) destacam esse tipo de modelo como aqueles caracterizados pelas interações entre múltiplos agentes que buscam a otimização individual e se relacionam através dos mercados de bens e fatores de produção. O equilíbrio nesse tipo de modelo é obtido quando as variáveis endógenas (preços e quantidades) ajustam-se de forma que os agentes não podem melhorar sua situação alterando seu comportamento. Dessa forma, oferta e demanda se igualam em todos os mercados, firmas sob retornos constantes de escala auferem lucros normais e as despesas dos agentes ajustam-se às suas receitas.

Modelos de equilíbrio geral representam o fluxo circular de bens e serviços da economia, como pode ser observado na Figura 1, em que os consumidores ofertam capital e trabalho (fatores primários) aos setores produtivos, os quais ofertam bens e serviços aos consumidores. Considera-se também a existência de um fluxo reverso de pagamentos correspondente ao fluxo de bens e serviços, através do qual os consumidores recebem pagamentos dos setores produtivos pelo capital e trabalho fornecidos (renda), e com os recursos recebidos destes, efetuam o pagamento pelos bens e serviços consumidos (despesas).

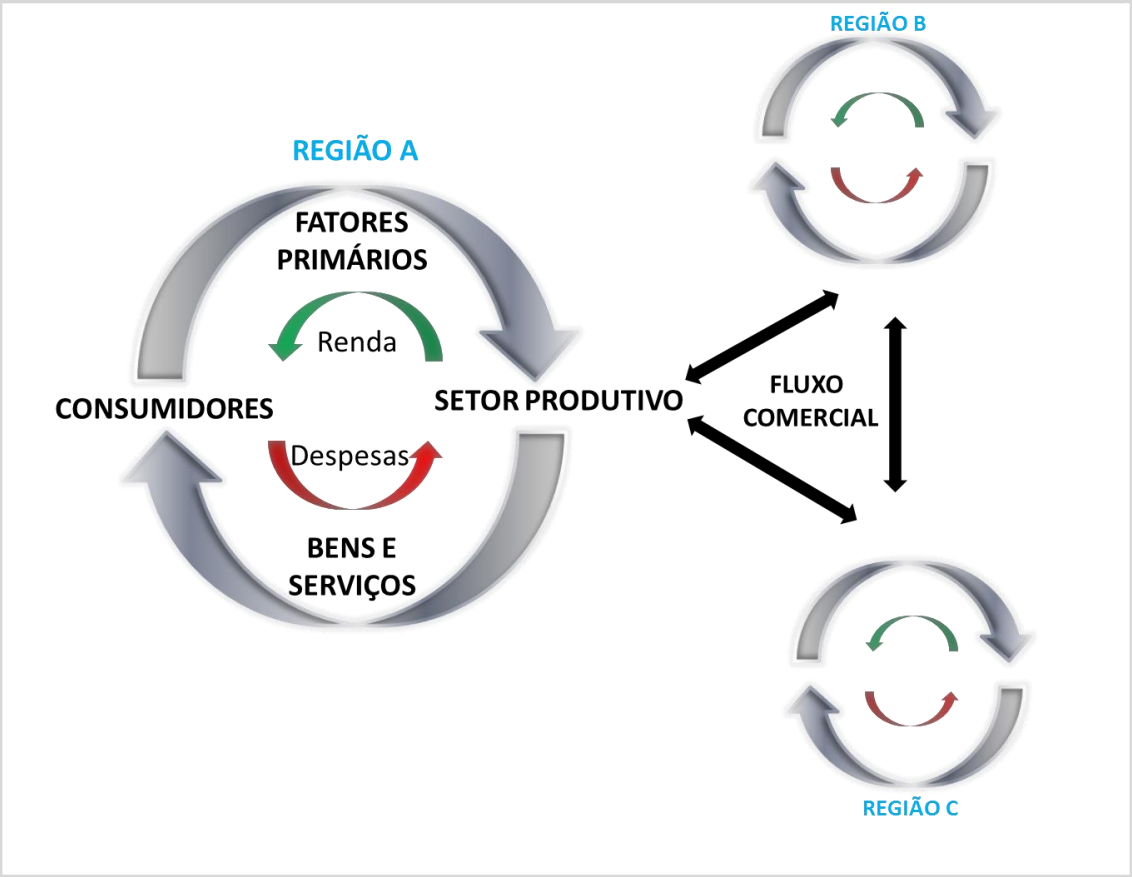



Figura 1 – Fluxo circular de bens e serviços

Fonte: Adaptado de Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

Alguns modelos também representam explicitamente o governo, mas o seu papel no fluxo circular é frequentemente considerado passivo, bem como as relações comerciais entre diferentes regiões e/ou países, que podem ser endógenas ou exógenas, o que caracteriza modelos multiregionais ou de única região, respectivamente. O equilíbrio no fluxo circular de bens e serviços na economia é representado pela conservação de produto e de valor. A conservação do produto se dá mesmo quando a economia não está em equilíbrio. A conservação de valor reflete o princípio contábil do equilíbrio orçamentário em que para cada atividade na economia o valor das despesas deve ser equilibrado pelo valor dos rendimentos (WING, 2004).

A formulação desse tipo de modelo é expressa em termos matemáticos como um sistema de equações simultâneas representando as condições de equilíbrio de mercado. A modelagem computável de equilíbrio geral utiliza a teoria econômica de equilíbrio geral como uma ferramenta operacional para análises de orientação empírica sobre questões relacionadas a economias de mercado, alocação de recursos, fluxos comerciais, mudança tecnológica, efeitos de choques entre outras. (SADOULET; DE JANVRY, 1995).

A utilização de modelos CGE é justificada quando se espera que medidas, políticas ou choques exógenos produzam efeitos de equilíbrio geral na economia como é o caso do choque do pré-sal na economia brasileira.

Thurlow (2004) salienta que modelos CGE muitas vezes incorporam ou necessitam de abstrações sobre funcionamento real de uma economia e por isso, é importante identificar e explicar as limitações do modelo, especialmente em termos de sua capacidade de refletir as características específicas de cada economia analisada.

Piermartini e Teh (2005) afirmam que as críticas aos modelos CGE são feitas geralmente quanto à precisão da simulação, ao grau de sensibilidade dos resultados em relação às hipóteses assumidas, à agregação que pode não deixar claro algumas relações importantes para a questão estudada, aos dados utilizados para calibração do modelo e às elasticidades utilizadas. Salientam que a estimativa das elasticidades preço da demanda e da oferta pode não ser acurada e que a escolha de cenários e especificações do modelo pode implicar em resultados distintos.

Esse trabalho pretende tornar a análise mais robusta através de uma análise de sensibilidade para entender o impacto das hipóteses assumidas mais relevantes capazes de afetar os resultados do modelo e espera-se também que conforme a literatura sobre o tema em questão for se aprofundando, modelos, dados e hipóteses assumidas serão estudados sob diferentes perspectivas e permitirão que a literatura se amplie.

## 3.2 Modelo EPPA

O modelo EPPA é um modelo CGE dinâmico recursivo, multi-regional e multi-setorial com um horizonte de simulação de longo prazo, que pode se estender até o ano 2100. Foi desenvolvido pelo MIT *Joint Program on the Science and Policy of Global Change* e vem sendo amplamente utilizado para o estudo de aspectos ligados à energia, agricultura e políticas climáticas (PALTSEV et al., 2005).

O modelo foi construído como um problema de complementaridade mista, não linear, utilizando a sintaxe do algoritmo *Modeling Programing System for General Equilibrium* (MPSGE), desenvolvida por Rutherford (1999). O MPSGE consiste em um conjunto de equações algébricas que caracterizam as condições de lucro econômico zero para a produção, equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados de bens e fatores de produção e equilíbrio

entre renda e despesas dos consumidores. O modelo é implementado na linguagem de programação *General Algebraic Modeling System* - GAMS (BROOKE et al., 1998).

Os dados econômicos que alimentam o modelo são formados principalmente por matrizes de insumo-produto que representam as estruturas das economias das regiões, provenientes do *Global Trade Analysis Project* - GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDOUGALL, 2002), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral. Dados sobre produção e uso de energia em unidades físicas são provenientes tanto da base de dados do GTAP 7 quanto da Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 1997, 2004, 2005). Os dados sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono - $CO_2$, metano - $CH_4$, óxido nitroso - $N_20$, hidrofluorcarbonos – HFCs, perfluorcarbonos – PFCs e hexafluoreto de enxofre - $SF_6$) foram obtidos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e informações sobre outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico – $SO_2$, óxidos de nitrogênio – NOx, carbono negro – BC, carbono orgânico – OC; amônia – $NH_3$; monóxido de carbono – CO e compostos orgânicos voláteis não-metano – VOC) foram obtidas do banco de dados desenvolvido por Olivier e Berdowski (2001).

No presente estudo foi utilizado o modelo EPPA – versão 5, calibrado para o ano base de 2004[6]. As simulações são feitas de forma endógena de 5 em 5 anos a partir do ano 2005. Os dados do GTAP para a economia mundial foram organizados nos países e regiões, setores e fatores de produção apresentados na Tabela 1 e a agregação do EPPA e sua relação com a base do GTAP pode ser vista no Anexo A.

[6] Versão mais recente do EPPA

Tabela 1 - Agregação de regiões, setores e fatores utilizados no modelo EPPA

| **Regiões** | **Setores** | **Fatores** |
|---|---|---|
| Estados Unidos (USA) | **Não Energia** | Capital |
| Canadá (CAN) | Agricultura - Culturas (CROP) | Trabalho |
| México (MEX) | Agricultura – Pecuária (LIVE) | Petróleo bruto |
| Japão (JPN) | Agricultura – Florestal (FORS) | Petróleo xisto |
| União Europeia (EUR) | Alimentos (FOOD) | Carvão |
| Austrália e Nova Zelândia (ANZ) | Serviços (SERV) | Gás natural |
| Federação Russa (RUS) | Químicos, Borracha, Plásticos e Papel (QBPP) | Hidráulica |
| Leste Europeu (ROE) | Siderurgia e Metalurgia (IRON) | Nuclear |
| China (CHN) | Intensivos em Energia (EINT) | Eólica & Solar |
| Índia (IND) | Outras Indústrias (OTHR) | Terra – Culturas |
| Brasil (BRA) | Serviços de Transporte (TRAN) | Terra – Pastagens |
| Leste Asiático (ASI) | **Energia** | Terra – Florestal |
| Oriente Médio (MÊS) | Carvão (COAL) | Florestas Naturais |
| África (AFR) | Petróleo Bruto (OIL) | Pastagens Naturais |
| América Latina (LAM) | Petróleo Refinado (ROIL) | |
| Resto da Ásia (REA) | Gás Natural (GAS) | |
| | Eletricidade: Fóssil | |
| | Eletricidade: Hidráulica | |
| | Eletricidade: Nuclear | |
| | Eletricidade: Eólica | |
| | Eletricidade: Solar | |
| | Eletricidade: Biomassa | |
| | Eletricidade: NGCC[1] | |
| | Eletricidade: NGCC – CCS[2] | |
| | Eletricidade: IGCC[3] – CCS | |
| | Gás Sintético | |
| | Biocombustível – 2ª geração | |
| | Petróleo de Xisto | |
| | Biocombustível – 1ª geração | |

Fonte: EBC (2012). Elaboração própria.
[1] NGCC: conversão de gás natural em eletricidade a partir de ciclo combinado de geração
[2] CCS: captura e sequestro de carbono
[3] IGCC: tecnologia de geração de gás natural a partir do carvão pelo ciclo combinado de geração

Funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de fatores primários e insumos intermediários para gerar bens e serviços. Em cada região há um consumidor representativo que objetiva a maximização do bem-estar pelo consumo de bens e serviços. A representação da possibilidade dos indivíduos de substituírem diferentes insumos e bens, tanto na produção quanto no consumo, é fundamental no EPPA e é dada pelas elasticidades de substituição nas funções de produção e de utilidade. Na produção, isso reflete a tecnologia utilizada, ou seja, a possibilidade de substituir diferentes fatores produtivos e

insumos intermediários no processo produtivo. Para o consumidor representativo, a substituição entre bens e serviços ilustra as preferências dos consumidores. O governo é modelado como uma entidade passiva que recolhe impostos e distribui o valor total dos recursos para as famílias.

O modelo fornece estimativas e projeções sobre o crescimento do Produto Interno Bruto nos países e regiões, bem-estar do consumidor representativo, consumo agregado e produção setorial, consumo e produção de energia em unidades físicas, preços de bens e serviços, fluxos comerciais, emissões de gases de efeito estufa e de outros poluentes, entre outros.

### 3.2.1 Estrutura de equilíbrio do modelo

Como o EPPA foi formulado como um problema de complementaridade mista, os conjuntos de variáveis não negativas preços, quantidades e níveis de renda devem satisfazer três desigualdades: lucro zero, equilíbrio dos mercados e equilíbrio da renda. Maiores detalhes sobre a notação algébrica do EPPA podem ser observados no Anexo B.

A condição de lucro zero requer que qualquer setor obtenha lucro zero quando a produção não é nula. Tal condição significa que há atividade econômica ($y$) e o lucro econômico é zero, ou então não há atividade econômica, pois o lucro seria negativo. Então para cada setor a seguinte relação[7] precisa ser satisfeita:

$$lucro \geq 0, y \geq 0, produto^T(-lucro) = 0 \qquad (1)$$

A condição de equilíbrio nos mercados estabelece que qualquer bem com preço ($p$) positivo deve manter o equilíbrio entre oferta e demanda, e qualquer bem com excesso de oferta terá seu preço igual à zero. Então para cada bem e fator de produção da economia a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$oferta - demanda \geq 0; p \geq 0; p^T(oferta - demanda) = 0 \qquad (2)$$

A condição de equilíbrio de renda requer que para cada agente (incluindo o governo) o valor da renda deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das receitas de impostos:

$$renda = dotações\ de\ fatores + receitas\ de\ impostos \qquad (3)$$

[7] Uma expressão escrita como $x^T y = 0$ (quando $x \geq 0$ e $y \geq 0$) significa que $x_i y_i = 0$, para todo $i = 1, \ldots n$.

### 3.2.2 Comportamento dos agentes

O comportamento da firma representativa é o de maximizar os lucros ($\pi$) sujeito à restrição tecnológica, escolhendo em cada região ($r$) e em cada setor ($i$), um nível de produto ($y$), uma quantidade de fatores primários ($k$) e de insumos intermediários ($x$) de outros setores ($j$). O problema da firma representativa é então:

$$max_{y_{ri,}\, x_{rji,}\, k_{rfi}}\, \pi_{ri} = p_{ri}y_{ri} - C_{ri}\left(p_{ri}, w_{rf,}y_{ri}\right)\ \ tal\ que\ \ y_{ri} = \varphi_{ri(x_{rji},k_{rfi})} \quad (4)$$

em que função custo é denotada por $C$, os preços dos bens por $p$ e os preços dos fatores de produção por $w$.

No EPPA, a produção é caracterizada por tecnologias com elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity of Substitution* – CES). Isso faz com que, pela teoria da dualidade, seja possível reescrever a equação de maximização de lucro em termos de funções de custo unitário e de lucro unitário. Ainda, retornos constantes de escala estão associados a lucro econômico zero para a firma no equilíbrio. Dessa forma, o comportamento otimizador da firma implica na condição de equilíbrio representada por:

$$p_{ri} = c_{ri}\left(p_{ri,}w_{rf}\right) \quad (5)$$

em que $c$ é a função custo unitário.

Pelo Lema de Shepard, a demanda intermediária pelo bem $j$ no setor $i$ é dada por:

$$x_{rji} = y_{ri}\frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \quad (6)$$

e a demanda pelo fator $f$ é dada por:

$$k_{rfi} = y_{ri}\frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}} \quad (7)$$

Já o consumidor representativo possui dotações de fatores de produção e serviços que podem ser vendidas ou arrendadas às firmas e escolhe em cada período e região os níveis de consumo e poupança($s$) que maximizam sua função de bem-estar($W$) sujeita à restrição orçamentária para o nível de renda $M$:

$$max_{d_{ri,}s_r}\, W_{ri}\left(d_{ri,}s_r\right)\ \ tal\ que\ \ M_r = \sum_f w_{rf}K_{rf} = p_{rs}s_r + \sum_i p_{ri}d_{ri,} \quad (8)$$

em que $d$ é a demanda final por mercadorias e $K$ é a dotação agregada de fatores do agente representativo na região $r$.

Como as preferências são também representadas por funções CES, pela dualidade e pela propriedade da homogeneidade linear, há para cada região uma função dispêndio unitária ou índice de preço de bem-estar que corresponde ao problema de otimização da família dado por:

$$p_{rw} = E_r(p_{ri,}p_{rs}) \tag{9}$$

Pelo Lema de Shepard, a demanda final compensada por bens é dada pela equação 10 e a poupança pela equação 11:

$$d_{ri} = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \tag{10}$$

$$s_r = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \tag{11}$$

O sistema é fechado com um conjunto de equações que determinam os preços de equilíbrio nos diferentes mercados de bens e fatores, como expresso pela equação 12 para os bens e pela equação 13 para os fatores primários:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial p_{ri}} + \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \tag{12}$$

$$K_{rf} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial w_{rf}} \tag{13}$$

### 3.2.3 Funções de produção

As tecnologias de produção no modelo EPPA são representadas por funções aninhadas CES com diversos níveis de desagregação, permitindo maiores possibilidades de substituição de insumos, principalmente energéticos, e flexibilizando a escolha das elasticidades de substituição. As elasticidades de substituição usadas no modelo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Elasticidades de substituição dos setores produtivos – EPPA

| Símbolo | Descrição | Valor | Comentários |
|---|---|---|---|
| $\sigma_{EVA}$ | Energia - valor adicionado | 0,4 - 0,5 | Aplicado na maior parte dos setores; 0,5 para os setores Intensivos em Energia e Outras Indústrias |
| $\sigma_{ENOE}$ | Eletricidade - combustíveis agregados | 0,5 | Todos os setores |
| $\sigma_{EN}$ | Entre combustíveis | 1,0 | Todos os setores exceto Eletricidade |
| $\sigma_{EVRA}$ | Energia/materiais/terra - valor adicionado | 0,7 | Setor de Agricultura |
| $\sigma_{ER}$ | Energia/materiais - terra | 0,6 | Setor de Agricultura |
| $\sigma_{AE}$ | Energia – materiais | 0,3 | Setor de Agricultura |
| $\sigma_{CO}$ | Carvão – petróleo | 0,3 | Setor de Eletricidade |
| $\sigma_{COG}$ | Carvão/petróleo – gás | 1,0 | Setor de Eletricidade |
| $\sigma_{VA}$ | Trabalho – capital | 1,0 | Em todos os setores |
| $\sigma_{GR}$ | Recursos – todos os outros insumos | 0,6 | Setores de Petróleo Bruto, Gás e Carvão |
| $\sigma_{NGR}$ | Recursos Nucleares–valor adicionado | 0,04 -0,4 | De acordo com a região |
| $\sigma_{DM}$ | Doméstico – importado<br>(Armington) | 2,0 – 3,0<br>0,3 | De acordo com o bem<br>Setor de Eletricidade |
| $\sigma_{MM}$ | Entre importações de diferentes regiões (Armington) | 5,0<br>4,0<br>6,0<br>0,5 | Bens não energéticos<br>Setores de Gás e Carvão<br>Setor de Petróleo Refinado<br>Setor de Eletricidade |

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

Na modelagem do EPPA existe uma estrutura aninhada comum entre os setores de serviços, transportes, intensivos em energia e outras indústrias como pode ser visto na Figura 2. Insumos intermediários são considerados complementares perfeitos (Leontief), juntos com uma cesta de capital-trabalho-energia (KLE), que por sua vez consiste em uma agregação de valor adicionado e energia.

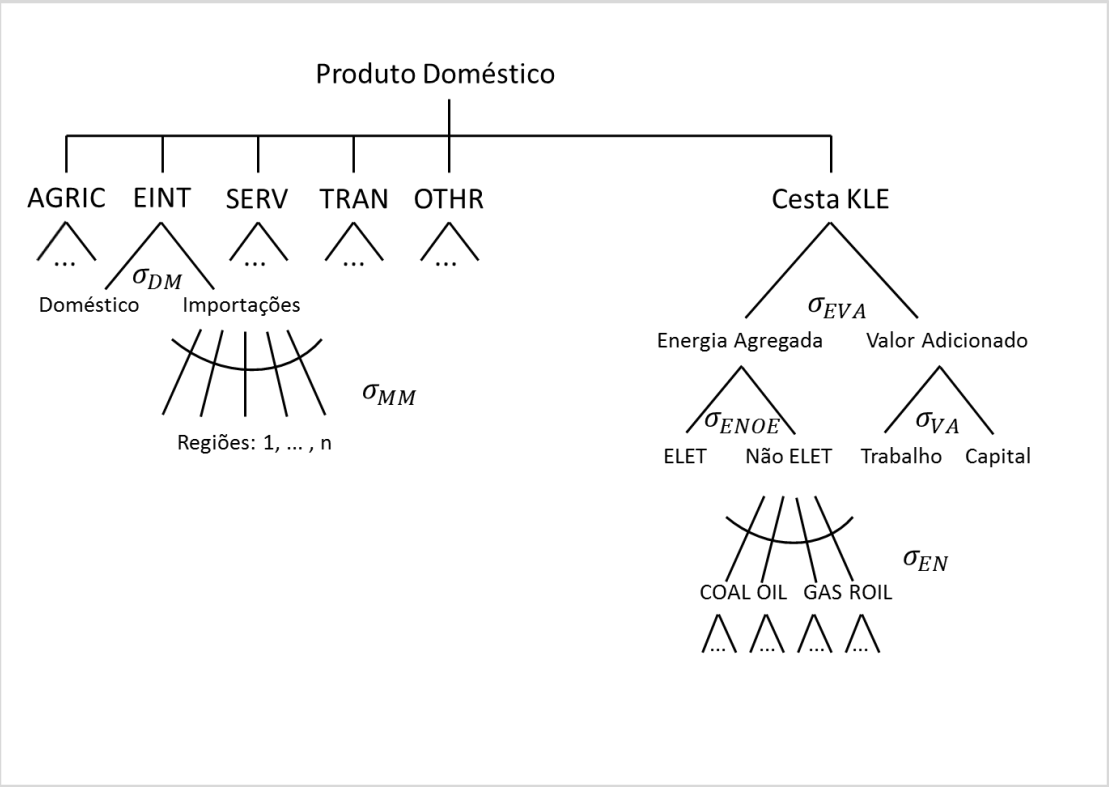



Figura 2 - Estrutura aninhada dos setores de serviços, transporte, intensivos em energia e outras indústrias.

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

Um único ramo de combinação para combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) e petróleo refinado aparenta limitar a flexibilidade. Contudo, como petróleo bruto não é utilizado diretamente em nenhum setor, exceto na produção de petróleo refinado, bem como carvão é utilizado expressivamente apenas no setor de produção de bens intensivos em energia em muitos países, a elasticidade $\sigma_{EN}$ é importante em determinar a substituição entre petróleo refinado e gás, permitindo flexibilidade entre esses insumos.

É importante destacar a estrutura aninhada para os bens importados. As importações de um determinado bem com origem em diferentes regiões são primeiramente combinadas como bens Armington sob a elasticidade $\sigma_{MM}$, ou seja, bens da mesma indústria provenientes de diferentes regiões são considerados substitutos imperfeitos, e posteriormente, o agregado de importados é combinado com a produção doméstica do mesmo bem, sob a elasticidade $\sigma_{DM}$, de forma a criar uma cesta de bens ofertados dentro da região.

A estrutura do setor de produção de eletricidade, que pode ser vista na Figura 3, possui uma grande desagregação. No nível de geração há a possibilidade de diferentes tecnologias de

geração, tanto as existentes no ano base (fóssil convencional, nuclear e hidroelétrica), quanto as que serão de uso futuro e que não estão disponíveis no ano base.

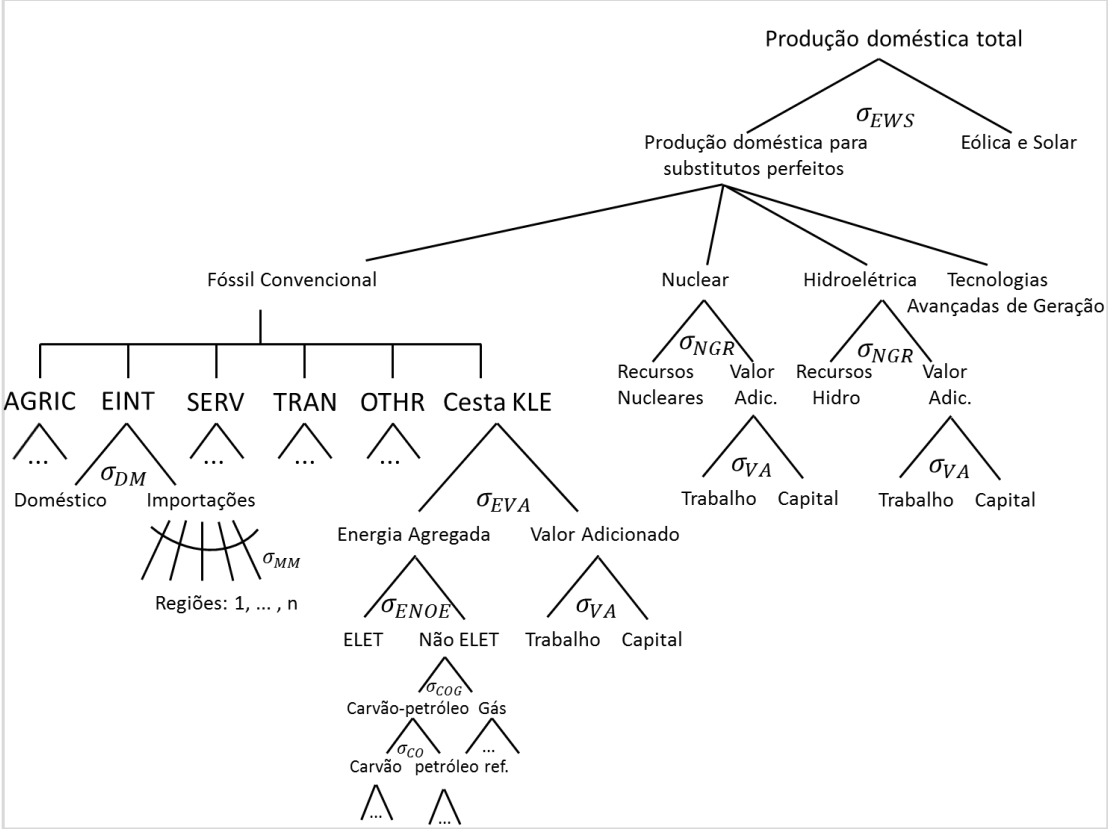



Figura 3 – Estrutura dos setores de produção: eletricidade

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

A maior parte das tecnologias avançadas é caracterizada como substituto perfeito ($\sigma = \infty$) da tecnologia existente. A exceção é a tecnologia eólica e solar que possuem substituição limitada (elasticidade de substituição $\sigma_{EWS}$). O ramo de energia fóssil convencional trata em conjunto as tecnologias de geração do carvão, do petróleo e do gás natural, relacionando-as por meio de substituição direta entre os combustíveis. Já as estruturas nuclear e hidroelétrica focam apenas no recurso em questão e na combinação trabalho-capital necessário.

A árvore tecnológica para os setores primários de energia pode ser observada na Figura 4 e inclui os recursos de combustíveis específicos (reservas de petróleo, gás natural e carvão), em que as elasticidades de substituição controlam a sua oferta de curto prazo, ou seja, a taxa de produção do recurso. Os setores não utilizam combustíveis ou eletricidade, uma simplificação causada pela limitação de dados.

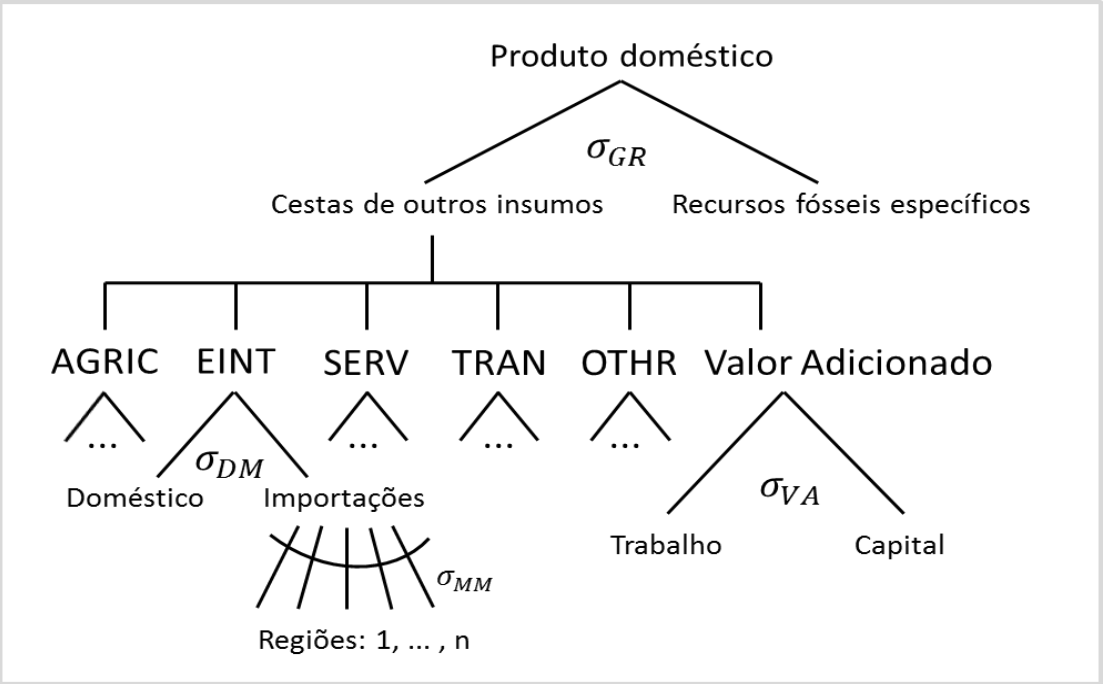



Figura 4 - Estrutura aninhada dos setores primários de energia fóssil (carvão, petróleo e gás).

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

O setor de petróleo refinado considera o petróleo bruto como insumo intermediário complementar para a geração de produtos de petróleo refinado, e não como parte da demanda por energia, como pode ser observado na Figura 5.

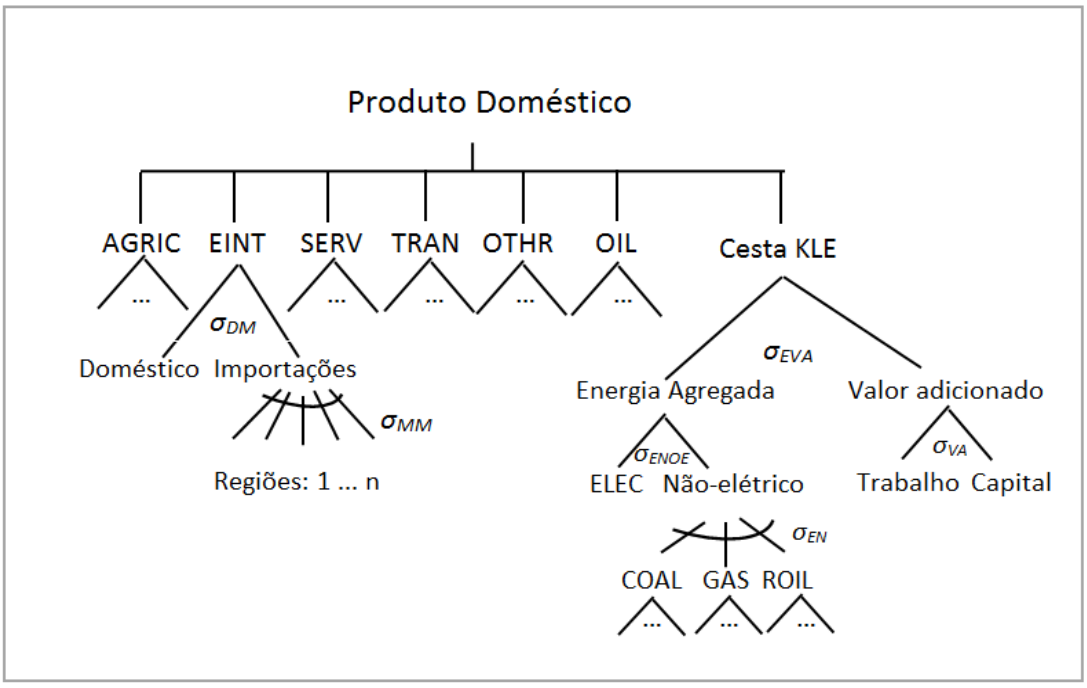



Figura 5- Estrutura aninhada do setor de petróleo refinado

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria

As fontes de energia hidráulica e nuclear possuem estruturas mais simples, com foco nos recursos de capital e trabalho com dotações de fatores fixos específicas às regiões (permite a representação dos limites regionais de capacidade de expansão dessas tecnologias) e com uma elasticidade de substituição unitária (Cobb-Douglas), enquanto o valor adicionado e o fator fixo específico possuem substituição com elasticidade $\sigma_{NGR}$. Não são considerados insumos intermediários na produção dessas tecnologias.

### 3.2.4 Comércio internacional

Petróleo bruto é tratado como um produto homogêneo no comércio internacional, estando sujeito a tarifas, impostos às exportações e margens de transporte. Por ser um bem homogêneo, todos os países e regiões se deparam com um único preço no mercado mundial.

Carvão, gás e petróleo refinado são considerados bens Armington, devido à diferenciação de produtos e qualidade. A pressuposição de Armington é menos adequada no caso do gás. Contudo, historicamente os mercados de gás natural têm sido nacionais ou regionais, uma vez que existem limites ao transporte por gasodutos e os preços em diferentes mercados tendem a divergir.

Todos os bens produzidos são comercializados nos mercados mundiais. O comércio de eletricidade, apesar de ser representado, é pouco comum na base de dados e apenas acontece entre regiões fronteiriças.

Por utilizar uma formulação de Armington, o EPPA possui uma representação explícita dos fluxos de comércio bilaterais de forma que as regiões sejam ao mesmo tempo exportadoras e importadoras de um bem em particular. Os fluxos bilaterais envolvem impostos de exportações, tarifas de importações e margens de transportes internacionais, explicitamente representadas no modelo.

### 3.2.5 Consumo

O EPPA utiliza uma estrutura CES aninhada para descrever as preferências do consumidor representativo, como pode ser observado na Figura 6. A decisão consumo - investimento no modelo é endógena já que a poupança entra diretamente na função utilidade, o que gera uma demanda por poupança.

A estrutura aninhada considera um ramo para a energia e outro que capta o transporte das famílias. O ramo de energia exclui as compras de combustíveis para o transporte das famílias, que são tratadas explicitamente no ramo de transporte.

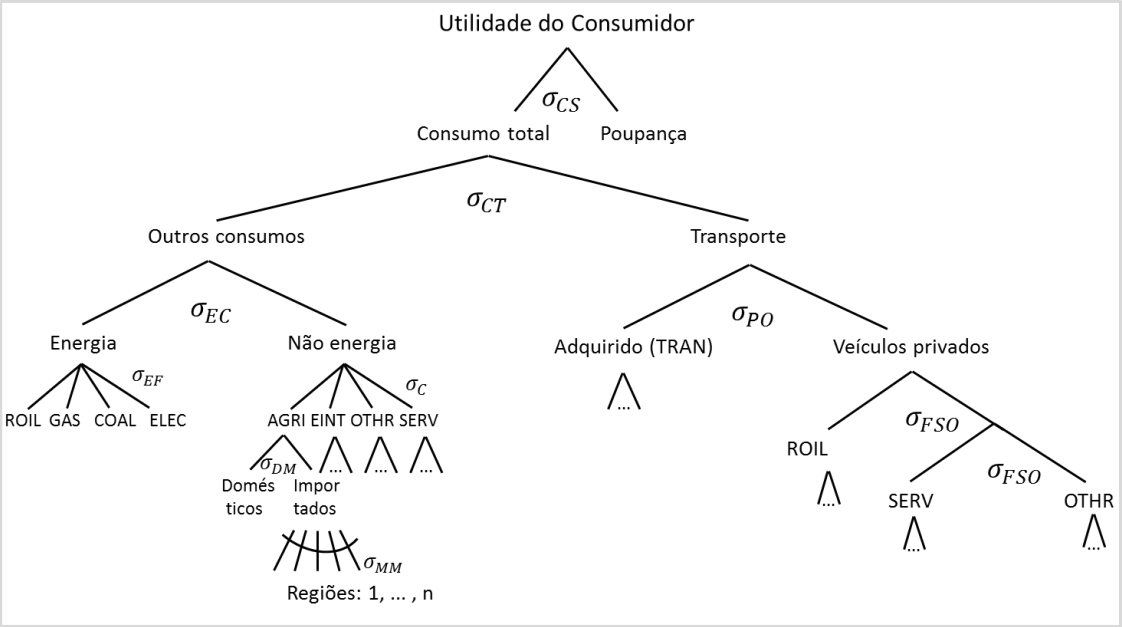



Figura 6 – Estrutura aninhada do consumo das famílias

Fonte: Paltsev et al (2005). Elaboração própria.

As elasticidades finais da demanda são mostradas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Elasticidades de substituição no consumo final no modelo EPPA

| Símbolo | Descrição | Valor |
|---|---|---|
| $\sigma_{EC}$ | Energia - outro consumo | 0,25 |
| $\sigma_{EF}$ | Entre combustíveis e eletricidade | 0,40 |
| $\sigma_{FSO}$ | Petróleo refinado - Serviços/Outros | 0,30 |
| $\sigma_{CS}$ | Consumo- Poupança | 0,00 |
| $\sigma_{C}$ | Entre bens não energéticos | 0,25-0,65 |
| $\sigma_{CT}$ | Transporte - outro consumo | 1,00 |
| $\sigma_{PO}$ | Transporte próprio - comprado | 0,20 |
| $\sigma_{SO}$ | Serviços - Outro | 0,50 |

Fonte: Paltsev et al. (2005)

A elasticidade entre insumos não energéticos para o consumo varia ao longo do tempo e de acordo com a região, sendo uma função do crescimento da renda per capita. A elasticidade $\sigma_{FSO}$ aumenta ao longo do tempo. A participação do consumo em cada período

também é atualizada em função do crescimento da renda per capita entre períodos. (LAHIRI, BABIKER e ECKAUS 2000).

Na mensuração do bem-estar, consideram-se as mudanças no consumo agregado apenas, excluindo a poupança, para evitar dupla contagem ao longo do tempo, uma vez que a poupança é transformada em investimentos, que impactam a produção e o consumo no próximo período. O bem-estar é mensurado em termos de variação equivalente *Hicksiana*, que mede a mudança na renda do consumidor necessária para que este atinja, após uma mudança em preços relativos, o nível de utilidade inicial, em cada período do modelo.

No modelo EPPA a parcela do gasto com cada bem em relação ao consumo total permanece constante, independente das mudanças na renda, já que a função de consumo CES utilizada é homogênea de grau um. Apesar de não ser consistente com tendências de longo-prazo, a propriedade de homogeneidade das funções CES é conveniente no modelo por simplificar a solução no algoritmo MPSGE. Para superar os limites dos retornos constantes de escala no consumo adota-se a abordagem de tornar as elasticidades e as parcelas de participação de bens e serviços no consumo dependentes da mudança na renda entre períodos, mas não dentro de um período. Isto mantém a homogeneidade dentro de um período consistente com retornos constantes e capta a evolução do consumo em função da renda ao longo do tempo. As mudanças em elasticidades e parcelas ao longo do tempo foram estimadas por Lahiri, Babiker e Eckaus (2000).

### 3.2.6 Emissões de gases de efeito estufa

O modelo projeta as emissões dos gases de efeito estufa (dióxido de carbono - $CO_2$, metano - $CH_4$, óxido nitroso - $N_20$, hidrofluorcarbonos – HFCs, perfluorcarbonos – PFCs e hexafluoreto de enxofre - $SF_6$) a partir dos dados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e também a emissão de poluentes urbanos (dióxido sulfúrico – $SO_2$, óxidos de nitrogênio – NOx, carbono negro – BC, carbono orgânico – OC; amônia – $NH_3$; monóxido de carbono – CO e compostos orgânicos voláteis não-metano – VOC) a partir de Olivier e Berdowski (2001). Em Paltsev et al. (2005) pode-se obter a relação entre os setores do EPPA e as fontes das emissões.

A abordagem do EPPA para essa modelagem é a introdução das emissões de cada gás de efeito estufa na estrutura aninhada dos setores da economia responsáveis por eles. O $CO_2$ é geralmente modelado como um insumo Leontief associado com combustível com uma

elasticidade zero de substituição para refletir o fato que a redução de sua emissão implica na utilização de menos combustível. Na maioria dos outros casos, de geração de emissões de outros gases associadas a processos produtivos específicos (como por exemplo, emissões de metano na agricultura), introduzem-se os gases de efeito estufa em um nível superior da estrutura aninhada, geralmente com uma estrutura CES com as elasticidades de substituição calibradas para as estimativas de possibilidades de redução de emissões. Essas elasticidades podem ser observadas em Paltsev et al. (2005).

### 3.2.7 Fechamento do modelo

O fechamento do modelo a cada período considera que a oferta total de cada fator de produção é constante e que os fatores, com exceção da parcela não maleável do capital, são móveis entre setores de uma mesma região, mas não entre regiões. O modelo assume que não há desemprego (a remuneração dos fatores se ajusta de acordo com as forças de oferta e demanda) O EPPA fixa as contas externas exogenamente e, gradualmente, suprime desequilíbrios da balança de capital existente. Essa hipótese tem como fundamento não admitir desequilíbrios perenes na balança comercial, mas é considerada apenas até o décimo período do modelo, ou seja, o ano de 2045. Dessa forma, mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer a cada período para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações.

O consumo do governo pode ser alterado a partir de mudanças nos preços dos bens e a receita dos impostos é impactada por mudanças no nível de atividade e no consumo.

### 3.2.8 Dinâmica do modelo

Nos modelos dinâmico-recursivos, como o EPPA, as decisões econômicas de otimização são realizadas a cada período considerando apenas os valores de preços e quantidades vigentes naquele período. Os resultados de equilíbrio gerados em um período são então utilizados como valores de referência para o processo de otimização do próximo período. Nesse sentido, em cada período o modelo possui um processo estático de solução, na medida em que os agentes não se preocupam com valores ou tendências futuras esperadas para as demais variáveis.

A evolução do modelo no tempo é baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento de consumo, poupança e investimentos e pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. O crescimento

na demanda por bens e serviços produzidos por cada setor ocorre à medida que o produto e a renda aumentam.

Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. Setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos. Todos esses fenômenos, aliados às políticas ou choques simulados determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos. O desenvolvimento ou declínio de uma tecnologia em particular é determinado de forma endógena, de acordo com a competitividade relativa da mesma.

Como o cenário a ser estudado no caso do choque do pré-sal é de longo prazo, é importante detalhar os processos mais influentes na evolução do modelo no tempo, que incluem o acúmulo do capital, a disponibilidade futura de tecnologias alternativas, o crescimento da força de trabalho, a evolução na intensidade de uso de energia, o esgotamento de recursos e as mudanças estruturais no consumo.

*a) Evolução do capital*

A representação da evolução do capital através das decisões de poupança e investimento é o fator mais importante dos modelos CGE em relação à dinâmica da economia no tempo. Nos modelos dinâmico-recursivos poupança e investimento são baseados apenas em variáveis do período corrente, diferente dos modelos de otimização intertemporal, em que as decisões de poupança e investimentos consideram todas as condições econômicas futuras, dadas como conhecidas pelos agentes. No modelo recursivo a poupança em cada período se iguala ao investimento, que repõe a depreciação no período corrente e contribui para a formação de capital do próximo período.

Investimentos são representados no modelo através de um setor produtivo específico. Esse setor produz um nível agregado de investimentos igual ao nível de poupança determinado pela função de utilidade do agente representativo. Esse investimento agregado deve então ser utilizado por cada setor da economia como demanda setorial por investimentos (formação bruta de capital fixo mais variação de estoques), de acordo com a informação disponível nas matrizes de insumo-produto da base de dados do GTAP. A acumulação de capital é contabilizada a partir da adição dos investimentos ao estoque já existente, descontada

a depreciação. A propensão marginal a poupar é mantida constante ao longo do tempo, evitando assim choques relacionados aos ciclos econômicos.

O EPPA ainda considera uma sofisticação na representação da dinâmica de uso do capital, pela distinção entre capital maleável e não maleável a fim de representar a dificuldade de se converter o capital de uma atividade em fator produtivo de uso alternativo em outro setor da economia no curto prazo. Apesar de ser geralmente ignorada nos modelos dinâmico-recursivos, essa representação da rigidez de curto prazo do capital é importante nesse tipo de modelo, uma vez que a evolução da economia ano a ano não permite a flexibilidade de se converter máquinas, equipamentos e edifícios de uma atividade em outra em curtos espaços de tempo. No caso dos setores de energia, a falta de maleabilidade do capital permite representar o longo tempo de maturação de investimentos nesse setor e a dificuldade de converter plantas e tecnologias uma vez colocadas em funcionamento.

Para representar a rigidez do estoque de capital, assume-se que a parcela maleável deste estoque em cada setor é descrita pelas funções CES apresentadas anteriormente. Isso significa que o capital pode substituir e ser substituído por outros insumos na função de produção. A parcela não maleável do capital é tratada através de uma função Leontief, que não permite a substituição entre insumos. As parcelas de capital não maleável e dos demais insumos na função de produção são definidas no momento que o capital é formado, refletindo a tecnologia vigente e em uso no momento da criação daquele capital. Essa formulação permite que o modelo apresente respostas de curto e de longo prazo a partir de mudanças nos preços relativos. Dessa forma, a possibilidade de substituição de insumos em um único período como resposta a mudanças em preços é uma combinação das possibilidades de substituição de longo prazo (dadas pela produção advinda do emprego do capital maleável) e da ausência de substituição no curto prazo (dada pelo produto gerado a partir do uso do capital não maleável). Com o desenvolvimento do modelo ao longo do tempo, o capital não maleável gerado em um determinado período anterior sofrerá depreciação e será substituído por novas parcelas de capital não maleável, que refletem as tecnologias em uso nos períodos mais recentes, oriundas das mudanças em preços relativos no tempo. Quanto maior a parcela da produção setorial originada do uso de capital não maleável, menores serão as possibilidades de substituição entre insumos naquele período, assim como menor será a capacidade de conversão do capital daquele setor em capital a ser empregado em outro setor qualquer, uma vez que, o capital não maleável não pode ser realocado entre setores.

b) *Disponibilidade de tecnologias alternativas- tecnologias backstop*

Um importante elemento que define a evolução dos modelos dinâmicos é a representação de tecnologias que não estão em uso atualmente (ou são usadas em pequena escala), mas que podem tornar-se disponíveis no horizonte de simulação, como é o caso da tecnologia do pré-sal no cenário 3 deste estudo. O momento no tempo em que essas tecnologias tornar-se-ão disponíveis, também chamado de período de entrada, depende dos custos relativos dessas em relação aos custos das fontes convencionais. A Tabela 4 apresenta as opções de tecnologias avançadas representadas no modelo EPPA original. Um dos avanços do presente estudo é a inclusão da tecnologia do pré-sal no modelo como uma tecnologia backstop alternativa.

Três tecnologias produzem substitutos para os combustíveis fósseis convencionais, gás de carvão, produto de petróleo cru do xisto e combustível refinado da biomassa. Outras cinco opções tecnológicas incluem a geração de energia elétrica eólica e solar, a partir da biomassa, e de ciclo combinado de gás natural com e sem captura e sequestro de carbono. Os atributos específicos dessas tecnologias são determinados pelos parâmetros das funções CES aninhadas. A abordagem básica é similar à especificação dos outros setores da economia. Os insumos intermediários são uma combinação de domésticos e importados como nos demais setores apresentados anteriormente.

Tabela 4 – Tecnologias alternativas disponíveis no EPPA

| **Tecnologia** | **Descrição** |
|---|---|
| Gaseificação de carvão | Converte carvão em um substituto perfeito para o gás natural. |
| Petróleo de xisto | Extrai e beneficia o betume de xisto, transformando-o em um substituto perfeito para o petróleo bruto. |
| Biocombustível de biomassa | Converte a biomassa em um substituto perfeito para petróleo refinado (segunda geração de combustíveis). |
| Eletricidade de biomassa | Converte biomassa em um substituto perfeito para eletricidade. |
| Eólica e solar | Converte a energia eólica e solar intermitente em um substituto imperfeito para eletricidade. |
| Gás avançado | Tecnologia de geração de eletricidade baseada no ciclo combinado de gás natural (CCGN) que converte gás natural em eletricidade. |
| Gás avançado com sequestro e captura de carbono | Tecnologia de ciclo combinado de gás natural que captura 90% ou mais do $CO_2$ produzido na geração de energia. |
| Carvão avançado com sequestro e captura de carbono | Ciclo combinado integrado de gaseificação do carvão (CCIG) que captura 90% ou mais do CO2 produzido na geração de energia. |

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

No cenário 3 deste estudo o pré-sal é modelado como uma tecnologia backstop de maneira similar ao petróleo de xisto (substituto perfeito para o petróleo bruto). A estrutura de do petróleo de xisto pode ser observado na Figura 7 abaixo. O recurso específico é o conteúdo estimado das reservas de xisto.

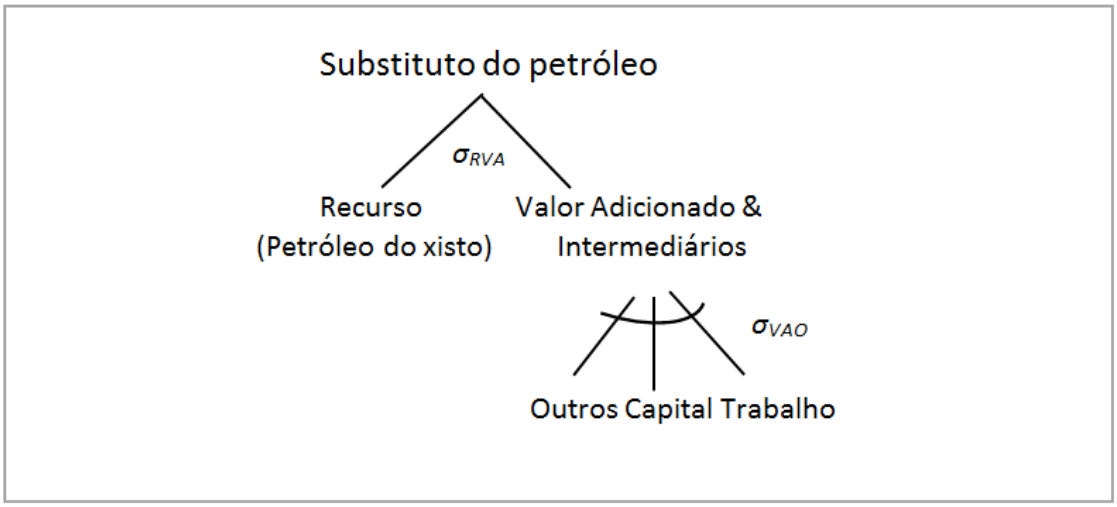



Figura 7 – Estrutura da produção de petróleo de xisto

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

A tecnologia de biocombustível tem a mesma estrutura do petróleo de xisto mas o recurso específico é a terra. Além disso, os recursos do xisto são esgotáveis, enquanto o recurso terra é considerado renovável, e sua produtividade aumenta exogenamente com o tempo. A produção de eletricidade a partir da biomassa também utiliza o fator terra, porém, sua árvore tecnológica difere da de biocombustível por incluir um fator fixo específico que controla o ritmo de entrada desta tecnologia e limita a sua expansão a taxas maiores do que o que seria esperado na prática. Já a tecnologia de gaseificação de carvão inclui insumos intermediários no ramo superior e a matéria-prima carvão, considerados complementares (Leontief) à cesta de valor adicionado.

As tecnologias avançadas de geração de eletricidade a partir de combustível fóssil representam: a tecnologia de ciclo combinado de gás natural sem sequestro de carbono; a mesma tecnologia com sequestro e captura de carbono; e uma tecnologia integrada de gaseificação de carvão com sequestro e captura de carbono. A estrutura produtiva elaborada dessas tecnologias inclui ramificações separadas para descrever o custo de transmissão e distribuição (T&D), de geração e de sequestro. Em contraste, nas demais tecnologias elétricas avançadas, como eletricidade de biomassa e eólica, os custos de transmissão e distribuição estão implicitamente inclusos no capital, trabalho e na cesta de outros insumos. Outra

diferença dessa representação é que as permissões de carbono entram em um ramo da estrutura CES. Essa estrutura permite representar que, para aumentar a taxa de captura e sequestro de carbono, mais de todos os insumos para geração e sequestro de carbono serão utilizados conforme o preço do carbono aumenta. Essas tecnologias também incluem fatores fixos adicionais no topo da representação que permitem representar os custos de ajustamento que ocorrem no desenvolvimento de novos setores nas economias.

A Tabela 5 apresenta as parcelas de participação dos diferentes insumos nas tecnologias descritas anteriormente, bem como o fator de mark-up, ou custo relativo estimado em relação à tecnologia tradicional com a qual a tecnologia alternativa deve competir. Assim como na representação das tecnologias convencionais, a habilidade de substituição entre os insumos em resposta a mudanças nos preços relativos é controlada pelas elasticidades de substituição, conforme apresentadas na Tabela 6. No caso da tecnologia de backstop a ser adicionada esses valores estão descritos na seção 4.3.

Tabela 5 – Mark-ups e parcelas de custos com insumos para as tecnologias alternativas

| **Tecnologia** | **Mark-up** | **Parcela de Insumos e Fatores** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Recursos** | **Outros** | **Capital** | **Trabalho** | **Fator fixo** |
| Gás de carvão | 3,5-4,0 | 0,40 | 0,10 | 0,30 | 0,30 | -- |
| Petróleo de xisto | 2,5-2,8 | 0,10 | 0,27 | 0,40 | 0,30 | -- |
| Biocombustível | 2,1 | 0,10 | 0,18 | 0,58 | 0,58 | -- |
| Bio-eletricidade | 1,4-2,0 | 0,19 | 0,18 | 0,44 | 0,44 | 0,05 |
| Eólica & Solar | 1,0-4,0 | 0,05 | 0,25 | 0,40 | 0,40 | 0,05 |

| | | **Fator fixo** | **Capital (Geração)** | **Trabalho (Geração)** | **Capital (T&D)** | **Trabalho (T&D)** | **Capital (seq.)** | **Trabalho (seq.)** | **Combustível** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gás avançado | 0,94 | 0,01 | 0,24 | 0,05 | 0,31 | 0,31 | 0,00 | 0,00 | 0,23 |
| Gás av. com SCC | 1,16 | 0,01 | 0,29 | 0,07 | 0,26 | 0,26 | 0,05 | 0,00 | 0,16 |
| Carvão av. com SCC | 1,19 | 0,01 | 0,39 | 0,12 | 0,21 | 0,21 | 0,08 | 0,01 | 0,07 |

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

Tabela 6 - Elasticidades de substituição de insumos nas tecnologias alternativas

| Símbolo | Tecnologia | Valor | Insumos |
|---|---|---|---|
| $\sigma_{RVA}$ | Petróleo de xisto | 0,50 | Recurso-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{RVA}$ | Bio-elétrica | 0,30 | Recurso-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{RVA}$ | Biocombustível | 0,10 | Recurso-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{RVA}$ | Eólica & solar | 0,02-0,06 | Recurso-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{FVA}$ | Bio-eletricidade | 0,40 | Fator fixo-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{FVA}$ | Eólica & solar | 0,60 | Fator fixo-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{FVA}$ | NGCC, NGCC& IGCC com sequestro | 0,10 | Fator fixo-valor adicionado / outro |
| $\sigma_{VAO}$ | Petróleo de xisto | 0,20 | Trabalho-capital-outro |
| $\sigma_{VAO}$ | Biocombust. & eletricidade, eólica & solar | 1,00 | Trabalho-capital-outro |
| $\sigma_{VA}$ | Aplicada à gaseificação do carvão | 0,50 | Capital-trabalho |
| $\sigma_{GVA,SVA,TD}$ | Geração, transmissão e sequestro | 0,80 | Capital-trabalho |
| $\sigma_{PT}$ | NGCC & IGCC com sequestro | 1,00 | Créditos de emissões |

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

Os fatores fixos atribuídos para cada nova tecnologia são específicos. Como discutido em Jacoby et al. (2004), as taxas de penetração observadas para uma tecnologia nova em geral mostram uma penetração gradual. O modelo EPPA permite replicar tal comportamento atribuindo ao agente representativo uma quantidade limitada de recurso fixo inicial, sendo que essa dotação aumenta como uma função do produto do período anterior. A capacidade de expansão é, então, restringida em qualquer período pela quantidade do recurso e pela capacidade de substituir outros insumos por este. Como o produto aumenta ao longo do tempo, a dotação cresce, reduzindo a limitação na capacidade de expansão. A intuição por trás dessa especificação é de que a nova indústria possui recursos escassos de engenharia para construir plantas produtoras da tecnologia nova. Havendo demanda para expansão de capacidade, as firmas com essa capacidade gerarão retorno. Assim, essas firmas ganham experiência e expandem a dotação do fator fixo para períodos futuros.

*c) Outros fatores que determinam a dinâmica do modelo*

Outros fatores importantes que influenciam a evolução do modelo no tempo estão relacionados com a representação do aumento na força de trabalho, mudanças na produtividade de fatores e insumos, mudança nos padrões de consumo a partir da evolução da renda e esgotamento dos recursos naturais.

O crescimento da força de trabalho é definido exogenamente, composto pelos efeitos separados do crescimento populacional e da produtividade do trabalho. O crescimento populacional baseia-se na tendência de longo prazo das estimativas das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2000, 2001). A produtividade do trabalho, por sua vez, é especificada

de forma a permitir a reprodução de níveis de produto interno bruto nas regiões do modelo em concordância com valores observados e previsões do FMI e do Banco Mundial.

A mudança tecnológica exógena é outra fonte importante de crescimento da economia considerada no modelo EPPA. Jacoby et al. (2004), destaca dois tipos de mudanças tecnológicas exógenas presentes no modelo. Na primeira assume-se um incremento exógeno na produtividade do trabalho, levando-se em conta previsões sobre o crescimento da população e da produtividade do trabalho como citado anteriormente, bem como na oferta de recursos naturais, através de aumentos na produtividade da terra e de descobertas de novas fontes de recursos naturais.

A segunda forma de considerar a mudança tecnológica exógena é através da redução do uso de insumos por unidade de produto ao longo do tempo. Essa representação de mudança tecnológica é considerada no caso de insumos energéticos em modelos que se preocupam com o aumento autônomo da eficiência de energia (*energy efficiency improvement index* – AEEI). O AEEI é uma representação da mudança no uso de energia ao longo do tempo que não está relacionada a mudanças em preços. Baseia-se na observação de que há uma redução na quantidade de energia por unidade de PIB à medida que aumenta o PIB per capita do país. Tal aumento na eficiência do uso de energia não é induzido por preços, mas sim por mudanças tecnológicas na demanda por energia. No modelo EPPA, a evolução do AEEI baseia-se nas estimativas de Paltsev et al. (2005), que evidencia trajetórias diferenciadas para cada região.

Outro aspecto importante da dinâmica das economias é o padrão de mudança no consumo ao longo do tempo. Há forte evidência empírica de redução de participação de alimentos e produtos básicos e aumento da participação de serviços nos gastos dos consumidores à medida que a renda per capita cresce também é representada no modelo. Isso é feito no EPPA através de mudanças nas elasticidades e nas parcelas de participação de bens e serviços no consumo em função de mudança na renda entre períodos do modelo, seguindo as estimativas de Lahiri, Babiker e Eckaus (2000).

Por fim, o processo de esgotamento dos recursos naturais também é outro fenômeno de importância que afeta a trajetória das economias no tempo. O modelo EPPA considera três tipos de recursos fósseis individualmente, rastreando em unidades físicas as reservas de petróleo, de carvão e de gás natural. Esses recursos são modelados como possuindo diferentes graus de qualidade, o que implica em aumento no custo de extração conforme a redução da

sua quantidade. Ao longo do tempo, reduz-se o estoque de recursos energéticos regionais pela quantidade equivalente à extraída para a produção física do combustível no período anterior. Como o EPPA é resolvido recursivamente de cinco em cinco anos, o esgotamento do recurso é aproximado nos anos intermediários.

Os processos descritos anteriormente, bem como as políticas e choques simulados determinam a evolução das economias no tempo, alterando a competitividade e participação das diversas tecnologias e o crescimento econômico das regiões.

# 4 CENÁRIOS SIMULADOS

Essa seção apresenta o detalhamento dos cenários simulados nesse estudo. Primeiramente analisou-se o impacto da curva de produção de petróleo no Brasil projetada pela EPE até 2020 considerando a exploração do pré-sal (cenário 1). O choque aplicado ao modelo para simular o aumento da produção a partir da exploração dos recursos do pré-sal se deu através do aumento do estoque do recurso fixo específico ao setor de petróleo, que representa as reservas petrolíferas a serem extraídas. Esse choque equivale ao simulado por Magalhães e Domingues (2012). Para investigar os impactos de longo prazo da produção do pré-sal estudaram-se outros dois cenários: o cenário 2 que simula o impacto da curva de produção de petróleo nacional considerando o pré-sal até 2090, obtida de Haddad (2012), usando a mesma estratégia do cenário 1 de choque de oferta; e o cenário 3 que foi obtido a partir da alteração do modelo EPPA original para a simulação do pré-sal como uma tecnologia *backstop* (ver seção 3.2.8) para esse mesmo horizonte temporal. Nesse último cenário é necessário definir o *mark-up* de custo dessa nova tecnologia em relação à tecnologia de extração de petróleo convencional e hipóteses sobre a participação de capital e trabalho nos custos de extração do pré-sal. Ainda, é preciso estabelecer os níveis de subsídios à produção ou ao uso do capital no setor, caso esse não se torne competitivo no período a ponto de gerar os volumes de produção anunciados pelo governo. Todos esses cenários foram comparados com o cenário BAU (*Business As Usual*) que representa a trajetória da economia projetada pelo modelo EPPA sem considerar a produção do pré-sal, mas ajustado para reproduzir a produção de petróleo nacional até 2010[8] e a diferença entre os cenários simulados e BAU representa o efeito do pré-sal considerando as hipóteses assumidas em cada modelo. Os resultados das simulações podem ser observados na seção 5 e indicam os impactos da exploração do pré-sal sobre a economia brasileira.

## 4.1 Cenário 1 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2020

Nesse primeiro cenário calibrou-se o modelo de forma a reproduzir a projeção de produção de petróleo pela EPE até 2020, que pode ser observada na Tabela 7 abaixo[9].

---

[8] O modelo base precisou ser calibrado já que a produção brasileira de petróleo em 2010 foi realizada já se sabendo da existência do pré-sal (mesmo sem a produção a partir desse recurso ainda) e portanto é maior que o projetado em um cenário onde não se sabia da existência do recurso, já que o EPPA é calibrado para o ano de 2004.

[9] A projeção de produção de petróleo foi convertida de Mbpd para eJ/ano (unidade compatível com o modelo EPPA) de acordo com a conversão utilizada por Jandrey et al. (2010). Os valores da projeção do EPE convertidas são de 8,173 eJ em 2015 e 12, 334 eJ em 2020.

Tabela 7- Projeção da produção nacional de petróleo pela EPE (milhões de barris diários)

| | RND EPS | RND PS | RD EPS | RD PS | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| **2011** | 0,000 | 0,000 | 2,022 | 0,303 | 2,325 |
| **2012** | 0,001 | 0,003 | 2,060 | 0,397 | 2,460 |
| **2013** | 0,034 | 0,004 | 2,255 | 0,507 | 2,800 |
| **2014** | 0,095 | 0,006 | 2,706 | 0,728 | 3,536 |
| **2015** | 0,146 | 0,012 | 2,718 | 0,938 | 3,814 |
| **2016** | 0,201 | 0,023 | 2,774 | 1,283 | 4,280 |
| **2017** | 0,229 | 0,035 | 2,717 | 1,747 | 4,728 |
| **2018** | 0,233 | 0,048 | 2,696 | 2,350 | 5,327 |
| **2019** | 0,228 | 0,060 | 2,532 | 2,768 | 5,589 |
| **2020** | 0,215 | 0,074 | 2,387 | 3,080 | 5,756 |

Legenda: RND = Recursos não descobertos, RD = Recursos descobertos, EPS = Extra pré-sal, PS = Pré-sal.
Fonte: EPE – Plano decenal de expansão de energia 2020 - Elaboração própria

A calibragem foi realizada de modo a representar um choque de expansão da produção no setor petrolífero para que atinja a projeção do EPE de maneira similar ao estudo de Magalhães e Domingues (2012) [10], e se deu através do aumento do estoque do recurso fixo específico ao setor de petróleo, que representa as reservas petrolíferas a serem extraídas. A produção de petróleo nacional no cenário 1 e BAU pode ser observada na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Produção nacional de petróleo (eJ) no cenário 1 e BAU

| Ano | BAU | Cenário 1 |
|---|---|---|
| **2010** | 5,99 | 6,01 |
| **2015** | 6,20 | 8,17 |
| **2020** | 7,37 | 13,25 |

Fonte: elaboração própria

### 4.2 Cenário 2 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2090

Para calibrar o cenário 2 utilizou-se a projeção de produção física de petróleo encontrada em Haddad (2012). Esta curva foi baseada na modelagem de Hubbert[11] de Szklo, Machado e Schaefer (2007), considerando as adições da camada pré-sal, de 2012 a 2089, com pico de produção em 2028 e considerando também a entrada de duas refinarias programadas

[10] Esse estudo considerou um aumento de recursos uniforme.

[11] A teoria do pico de petróleo de Hubbert considera que os volumes descobertos de petróleo e de produção seguem uma curva de distribuição regular e que o aumento e a queda da produção podem ser previstos com base nos resultados da exploração passada (Lima, 2009). De acordo com Szklo, Machado e Schaefer (2007) a curva de Hubbert assume uma taxa de produção que segue uma curva logística e ressalta que a curva de produção do petróleo obtida depende da hipótese de que o ritmo de produção segue o de descoberta com uma defasagem temporal.

(COMPERJ e RENOR) em 2014[12]. A calibragem desse cenário foi realizada utilizando o mesmo método e hipóteses do cenário 1 mas ajustando para essa projeção de longo prazo. A aproximação entre o cenário simulado no EPPA e a projeção daqueles autores pode ser observada no Apêndice A. A produção de petróleo nacional no cenário 2 e BAU podem ser observadas no Gráfico 1 abaixo.

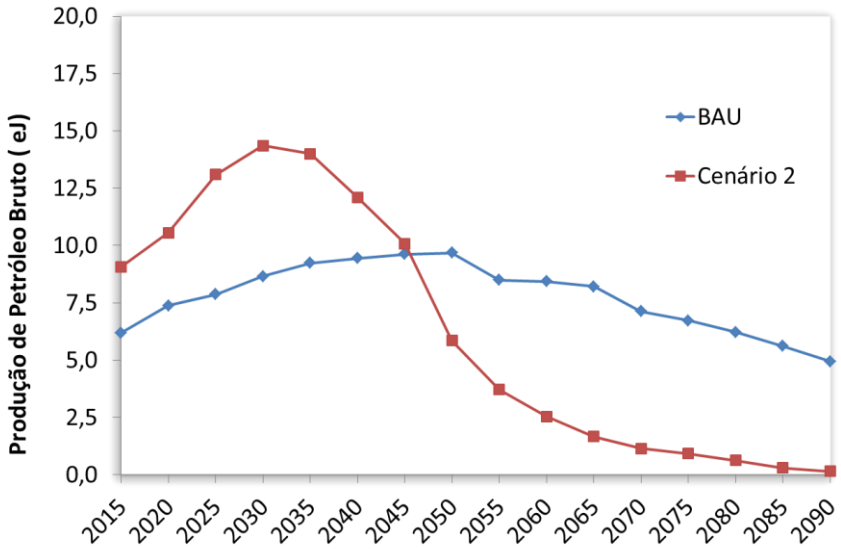



Gráfico 1– Produção do setor petrolífero nacional no cenário 2 e BAU (eJ)

Fonte: elaboração própria

### 4.3 Cenário 3 – Pré-sal como tecnologia *backstop* no EPPA

Como alternativa à modelagem do aumento de produção do pré-sal como um choque de oferta calibrado no modelo, modificou-se o modelo EPPA original para que o pré-sal pudesse ser tratado como uma tecnologia *backstop*, o que permite tornar o resultado de produção do pré-sal endógeno no modelo, como consequência das forças de oferta e demanda por recursos energéticos e competição entre diferentes fontes. Essa modelagem foi baseada, com as adaptações necessárias para o caso brasileiro, nos trabalhos de Choumert, Paltsev e Reilly (2006) e Chan et al. (2012).

Choumert, Paltsev e Reilly (2006) modificaram o modelo EPPA original para aprimorar o setor de petróleo e refino. Os autores desagregaram o produto do refino que no EPPA original era considerado só uma commodity para três tipos de combustíveis (gás liquefeito de petróleo, gasolina e óleo diesel) e duas categorias de resíduo de refino (coque de petróleo e óleos combustíveis pesados). Também modificaram o setor para permitir o upgrade

[12] É importante salientar que, apesar dessa hipótese assumida por esse estudo, esse fato não acontecerá em 2014, como aponta o Plano de Negócios 2012-2016 da Petrobras .

dos óleos combustíveis pesados em combustíveis que podem ser usados em transporte. Além disso, no EPPA original a segunda geração de biocombustível era modelada como uma tecnologia backstop que produz um substituto perfeito ao petróleo refinado mas os autores modificaram o modelo para que representasse diferentes tipos de biocombustíveis que são então substitutos para a gasolina e diesel. Mas a modificação mais importante para esse trabalho foi a introdução de novas tecnologias de produção de petróleo de fontes não convencionais. Para tal, os autores desagregaram as reservas de petróleo não convencional (areia betuminosa no Canadá e petróleo extra pesado na Venezuela) da reserva de petróleo bruto convencional, calcularam parâmetros econômicos e formularam hipóteses sobre as características dessas tecnologias. O trabalho de Chan et al. (2012) utiliza o modelo EPPA modificado por Choumert, Paltsev e Reilly (2006) e desagrega a produção de petróleo a partir da areia betuminosa para que represente duas tecnologias distintas (mineração de superfície e projetos *in situ*).

Para modelar o pré-sal como uma tecnologia backstop adicionou-se ao modelo EPPA original um setor de produção específico para o pré-sal, como pode ser visto na Figura 8 abaixo, que produz petróleo bruto através do recurso fóssil extraído do pré-sal e esse produto é considerado substituto perfeito ao petróleo bruto convencional e pode então ser exportado ou utilizado no setor de refino brasileiro. As elasticidades de substituição utilizadas, dada a carência de dados sobre os custos detalhados de produção de pré-sal, são as mesmas que as do setor de produção de areia betuminosa ($\sigma_{RVA}$ = 0,5 e $\sigma_{VAO}$ = 0,2) do estudo de Choumert, Paltsev e Reilly (2006). Considerando a incerteza sobre essas elasticidades, realizou-se uma análise de sensibilidade para verificar o impacto da primeira elasticidade sobre alguns dos resultados obtidos (Apêndice D).

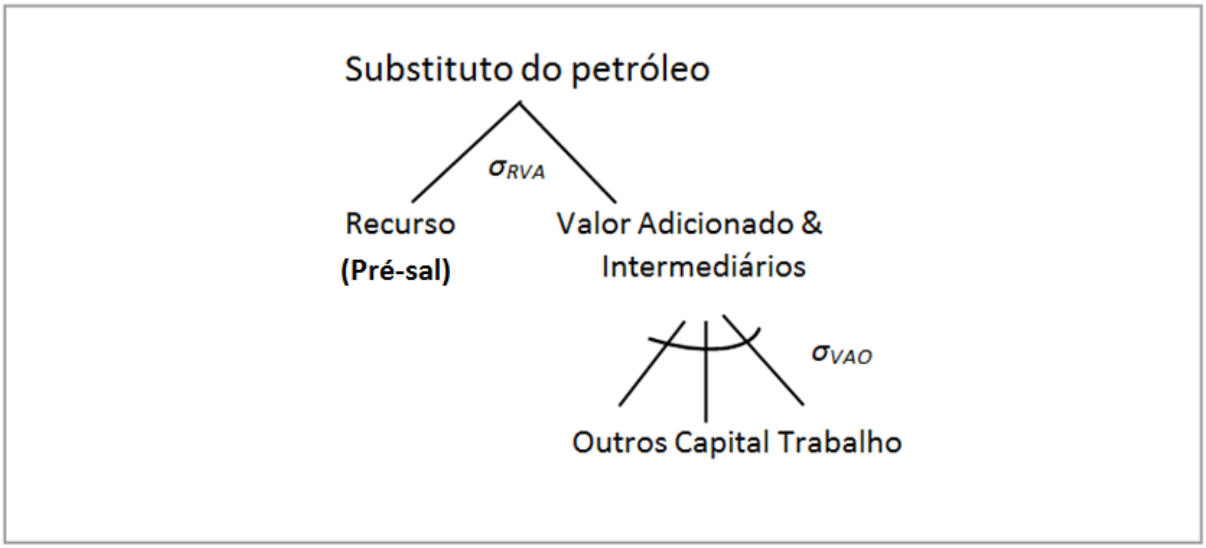



Figura 8 – Setor de produção do pré-sal

Fonte: elaboração própria – adaptação do setor de produção de petróleo de areia betuminosa de Choumert, Paltsev e Reilly (2006).

O modelo considera ainda o total de reserva tecnicamente recuperável estimada de pré-sal[13] e pretende reproduzir as diferenças de custo entre essa produção e a de petróleo convencional. Para isso, utilizou-se um *mark-up* de custo da nova tecnologia do pré-sal em relação ao recuso convencional de 1,75, calculado a partir dos dados obtidos de BRASIL (2009) e Lima K. (2010). Esse *mark-up* representa a relação entre o custo do petróleo extraído do pré-sal e o custo do petróleo obtido das reservas convencionais. Em relação à composição de insumos e fatores produtivos na tecnologia de extração, Choumert, Paltsev e Reilly (2006) ajustaram as porcentagens de capital e trabalho nos custos da produção de areia betuminosa com base em hipóteses sobre a composição do CAPEX e OPEX[14] desse recurso. Devido à lacuna de informações detalhadas disponíveis sobre a composição do CAPEX e OPEX do pré-sal, utilizou-se as mesmas porcentagens de capital e trabalho nos custos da produção do pré-sal. O Apêndice C apresenta uma análise de sensibilidade de alguns resultados deste trabalho para esses parâmetros.

Choumert, Paltsev e Reilly (2006) introduziram também uma curva de restrição ao fator fixo da areia betuminosa para ajustar o seu desenvolvimento aos níveis previstos. Sem essa restrição, grandes quantidades do recurso seriam extraídas assim que a função de

[13] A reserva de petróleo utilizada foi de 70 bilhões de barris tecnicamente recuperáveis (Lacerda, 2009) e converteu-se para eJ que é a unidade utilizada pelo EPPA.
[14] CAPEX refere-se às despesas de capital e OPEX às despesas operacionais.

produção backstop fosse ativada (a partir de 2000 no modelo) porque essas reservas já eram economicamente viáveis no Canadá.

Para o caso do pré-sal essa restrição não foi necessária. Calibrou-se a quantidade inicial de reserva de recurso fóssil disponível e modelou-se uma curva de subsídios[15] para permitir a produção do recurso do pré-sal em um período anterior ao que aconteceria de maneira endógena se fosse levado em conta só a competitividade do pré-sal e seus custos de oportunidade frente ao recurso convencional. A produção de petróleo nacional no cenário 3 com e sem subsídios e do cenário de referência podem ser observada no Gráfico 2 abaixo. Vale destacar a partir do Gráfico 2 que a produção de petróleo do pré-sal se torna competitiva apenas a partir de 2050 na ausência de subsídios.

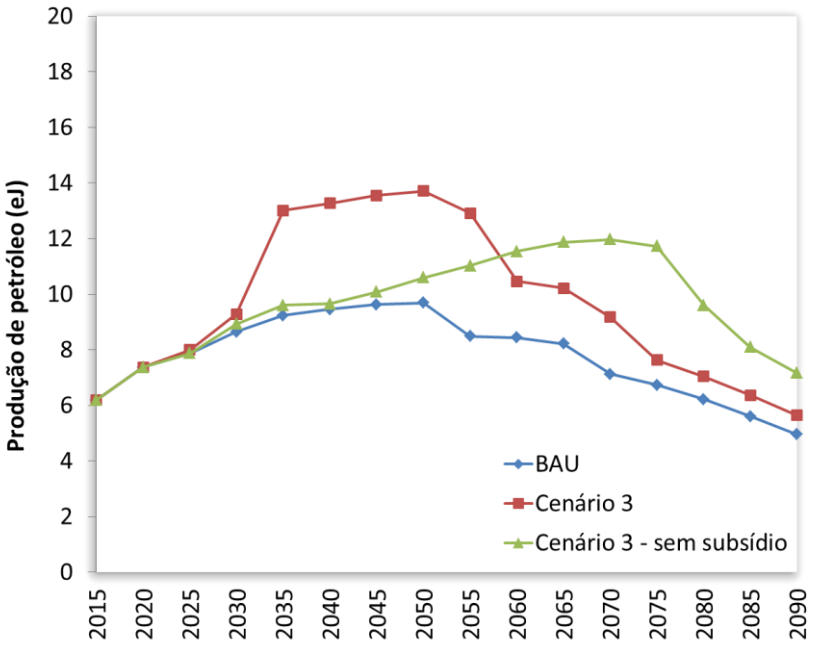



Gráfico 2 – Produção do setor petrolífero nacional no cenário 3 e BAU (eJ)

Fonte: elaboração própria

[15] O modelo conta com um subsídio a produção de 50% em 2015. Há uma diminuição de 10% do subsídio a cada interação do modelo a partir de 2035 até que esse subsídio seja nulo.

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção apresenta os resultados obtidos a partir das simulações dos cenários acima descritos. Os resultados foram agrupados em: impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo; impactos setoriais e sintomas de doença holandesa e impactos ambientais.

## 5.1 Cenário 1 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2020

### 5.1.1 Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo

Os resultados de impactos do pré-sal são apresentados através da variação percentual entre o cenário 1 e o cenário BAU para a variável em estudo. Os principais resultados macroeconômicos em 2020 podem ser observados na Tabela 9 abaixo juntamente com a produção física de petróleo. O impacto sobre o PIB em 2020 foi de 3,2%, e analisando pela ótica do dispêndio, a variação do investimento foi de 2,4% e a de gastos do governo de 3,4 %. O governo no EPPA é um agente que obedece ao equilíbrio orçamentário e como houve um aumento das receitas houve também um aumento dos gastos. Esse aumento de receita é maior proporcionalmente que o aumento do PIB, já que no EPPA a variação da receita do governo se dá de maneira proporcional à variação da produção setorial (índice de produção de todos os setores da economia).

Tabela 9 – Resultados macroeconômicos e produção física de petróleo em 2020.

| | BAU | Cenário 1 | Variação (%) |
|---|---|---|---|
| Produção petróleo | 7,37 | 13,25 | 79,7 % |
| PIB | 1.315,8 | 1.357,7 | 3,2 % |
| Investimento | 325,7 | 333,6 | 2,4 % |
| Gastos do governo | 213,3 | 220,5 | 3,4 % |
| Índice de bem-estar | 2,24 | 2,27 | 1,5 % |
| Taxa de câmbio Brasil/EUA | 0,930 | 0,916 | -1,5 % |

Fonte: elaboração própria

O sinal da variação do PIB brasileiro está de acordo com o resultado obtido por Magalhães e Domingues (2012) que simulou os impactos do pré-sal até 2020 e obteve um impacto positivo sobre o PIB de 4,8%, que como nessa dissertação, utilizou um modelo de equilíbrio geral dinâmico recursivo e simulou o choque como um aumento na oferta de recursos naturais no setor de petróleo de acordo com o previsto pela EPE. O maior impacto verificado por Magalhães e Domingues (2012) quando comparado ao cenário 1 dessa dissertação pode ser atribuído à modelagem do investimento no modelo utilizado por esses

autores, que incorpora mobilidade internacional do capital, acumulação de capital e teoria de expectativas adaptativas dos investimentos, já que, ao analisar a dinâmica de crescimento do PIB os autores obtiveram um aumento no investimento de 6,29% em 2020, maior que o obtido no presente estudo.

O efeito sobre o bem-estar do consumidor representativo foi de 1,5% em 2020 (como pode ser observado na Tabela 9), ou seja, o cenário que leva em conta o choque de produção do pré-sal apresenta uma variação positiva no bem-estar se comparado ao cenário base. No modelo EPPA, as mudanças no bem-estar são calculadas na forma de variação equivalente Hicksiana, ou seja, após as mudanças de preços relativos acarretados pelo choque é mensurada a compensação de renda necessária para que os consumidores mantenham o mesmo nível de utilidade anterior ao choque. Essa variação positiva observada no cenário 1 pode então ser interpretada como um aumento no nível agregado de consumo das famílias. Com a expansão da oferta de recursos naturais no Brasil há um aumento da produção do setor de extração e produção de petróleo bruto no modelo, o que reduz seu preço no mercado doméstico (o preço do petróleo bruto no mercado doméstico é 1,2% menor no cenário 1 se comparado a BAU em 2020) e aumenta a produção e reduz o preço do petróleo refinado (impacto negativo de 19,5% no preço de petróleo refinado no mercado doméstico em 2020), e como esse produto é um insumo para outros setores isso reduz também os custos de produção, o que explica os aumentos em PIB e no consumo das famílias observados nesse cenário 1.

O impacto sobre o câmbio real[16] (Tabela 9) se dá de acordo com o sentido previsto pelos mecanismos de doença holandesa, já que a expansão de recursos petrolíferos aumenta a produção de pré-sal e as exportações do setor gerando crescimento da renda e do consumo agregado doméstico. Esse resultado tem o mesmo sentido do estudado por Magalhães e Domingues (2012), que captaram o efeito de apreciação de moeda pelo diferencial entre os preços domésticos e internacionais.

[16] A taxa de câmbio real foi mensurada no modelo como a relação entre o índice de preço dos fatores primários de produção dos EUA e do Brasil. Essa relação procura refletir o conceito de taxa de câmbio real, dado pela fórmula: $EP^*/P$, em que: $E$ representa a taxa de câmbio nominal (que no EPPA é unitária, uma vez que todos os valores são mensurados em dólares), $P^*$ que representa o índice de preço da economia estrangeira e $P$ que representa o índice de preço da economia nacional. Esse conceito mostra-se conveniente para o estudo de possíveis sintomas de doença holandesa, uma vez que, como apontado na literatura revisada, esse fenômeno estaria associado ao efeito que as rendas ricardianas obtidas com a exploração do recurso natural teriam sobre a economia nacional, pressionando, via *spending effect* o aumento relativo dos preços dos bens não comercializáveis.

### 5.1.2 Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa

Apesar do impacto positivo sobre o PIB e bem-estar do consumidor representativo a partir do cenário 1, há indicações de sintomas de doença holandesa a partir da análise da produção setorial, das mudanças nas importações e exportações setoriais e das mudanças nas demandas de capital e trabalho dos setores produtivos. Esses resultados podem ser observados na Tabela 10 abaixo, que mostra a variação do cenário 1 em relação ao cenário de referência dessas variáveis por setor econômico em 2020.

Tabela 10 – Variações setoriais entre cenário 1 e BAU em 2020 (%)

| Setor | Produção | Importações | Exportações | Demanda por capital | Demanda por trabalho |
|---|---|---|---|---|---|
| Agricultura | -2,0 % | 4,6 % | -7,1 % | -1,3 % | -2,4 % |
| Alimentos | -1,2 % | 7,2 % | -9,6 % | -0,4 % | -1,5 % |
| Indústrias intensivas em energia | 1,1 % | -0,6 % | 2,3 % | -2,1 % | -3,2 % |
| Outras Indústrias | -0,7 % | 8,6 % | -11,6 % | -0,1 % | -1,2 % |
| Petróleo[17] | 50,2 % | -22,7 % | 174,3 % | 32,6 % | 31,0 % |
| QBPP | 0,4 % | 2,5 % | -2,1 % | -2,4 % | -3,6 % |
| Serviços | 1,0 % | 13,4 % | -17,0 % | 1,7 % | 0,5 % |
| Serviços de Transporte | 7,6 % | -8,6 % | 27,2 % | -0,4 % | -1,5 % |
| Siderurgia e Metalurgia | 0,4 % | 5,1 % | -5,2 % | -0,7 % | -1,9 % |

Fonte: elaboração própria

Cabe ressaltar que o setor de serviços pode ser considerado um setor não comercializável, já que em 2010 (antes do choque do pré-sal) no cenário base a relação entre exportação e produção do setor era 2,1% e de importação era 2,7 %. Todos os outros setores (com exceção do setor petrolífero que é o setor de *boom* neste trabalho) enfrentam competição internacional e são considerados os setores *lagging*, mas cabe ressaltar que o setor de Outras Indústrias e o de QBPP são os que proporcionalmente mais importam. Os setores impactados negativamente em 2020 na produção são os de Agricultura, Alimentos e Outras Indústrias sendo que os três setores tiveram aumento da importação e diminuição da exportação setorial se comparados ao cenário base. Os setores impactados positivamente são o de Petróleo, com expressivo crescimento de 50% acompanhado do aumento significativos das exportações do setor se comparado ao cenário base, e em proporção bem menos expressiva, os setores de Indústrias intensivas em energia, QBPP, Serviços de Transporte, Serviços e Siderurgia e Metalurgia. Todos esses setores, com exceção do setor de Serviços, possuem uma maior dependência do petróleo e derivados como insumo nas suas cadeias de produção. O aumento

[17] Produto setorial, demanda por capital e trabalho referem-se ao setor de petróleo bruto, enquanto as exportações e importações dizem respeito ao setor de petróleo refinado.

de produção no setor de Serviços é previsto pelos mecanismos de doença holandesa clássica, sendo importante salientar que este setor é o que mais contribui para a produção e consumo no país.

A partir dessa análise é possível concluir que os setores que mais se beneficiaram do choque produtivo simulado no setor petrolífero foram o setor de não comercializáveis e os setores dependentes de petróleo e produtos de refino que se beneficiaram com o aumento da produção de petróleo e queda no preço deste em comparação ao cenário base. Além disso, os setores de Alimentos, Agricultura e Outras Indústrias sofreram perdas produtivas, o que mostra uma perda de competitividade relativa destes setores, o que suporta a hipótese de desindustrialização prevista pelos mecanismos de doença holandesa. Resultados semelhantes foram encontrados na pesquisa de Magalhães e Domingues (2012).

Um último aspecto relevante a ser estudado para esse cenário diz respeito às mudanças nas demandas de fatores produtivos. Na Tabela 10 se pode observar a variação entre o cenário simulado e o cenário base em relação a demanda de capital e trabalho pelos setores em 2020. Percebe-se um deslocamento desses fatores para o setor petrolífero o que fortalece a hipótese de *resource movement* e para o setor de Serviços o que pode ser devido ao *spending effect*. Vale ressalvar que alguns setores como os das indústrias intensivas em energia e o de transportes, mesmo tendo expandido a produção, sofrem perdas dos fatores capital e trabalho para outros setores da economia por conta da possibilidade de substituição desses fatores de produção pela cesta de insumos energéticos. Como o grande aumento na produção de petróleo reduz consideravelmente o custo da energia fóssil e aqueles setores possuem uma participação considerável dos insumos energéticos no seu processo produtivo, ocorre uma substituição de capital e trabalho por energia naqueles setores[18].

### 5.1.3 Impactos ambientais

A Tabela 11 abaixo mostra a variação nas emissões setoriais e totais brasileiras entre o cenário 1 e BAU a partir da qual se percebe que o choque do pré-sal causa um impacto positivo de 0,8% sobre o total de emissões de $CO_2$ equivalente emitidos em 2020. Os setores

[18] As elasticidades de substituição entre o componentes do valor adicionado e a cesta de insumos energéticos no modelo EPPA foram estimadas e calibradas para representar as possibilidades de avanços tecnológicos capazes de aumentar a eficiência no uso de energia diante de políticas energéticas e climáticas que tornem o uso de energia mais restrito ou mais caro. Os resultados encontrados no presente estudo, de forte substituição de capital e trabalho por energia, sugerem que essas elasticidades devam ser revisadas e reestimadas para situações em que a energia fóssil se torne mais abundante e barata, movimento contrário ao esperado originalmente na construção do modelo.

de refino de petróleo e transporte apresentaram incrementos nas emissões de gases de efeito estufa se comparados ao cenário base devido ao aumento de produção de petróleo simulado. O pré-sal causou um aumento nas emissões da maior parte dos setores em 2020 se comparados ao cenário base devido ao crescimento deles na economia (e consequente aumento no consumo total de energia) bem como pelo barateamento dos derivados de petróleo, que podem gerar alguma substituição de fontes energéticas menos emissoras pelos derivados de petróleo no consumo de energia desses setores. Percebe-se então que o desenvolvimento do pré-sal aumenta as emissões de gases de efeito estufa e, portanto, existe um aparente conflito entre a política de mudanças climáticas e o esforço de desenvolvimento do pré-sal.

Tabela 11 – Emissões de CO2 equivalente por fonte – Variação entre o cenário 1 e BAU (%)

| **Fonte** | **Variação entre cenário 1 e BAU (%)** |
|---|---|
| Agricultura | -0,5% |
| Alimentos | 3,6% |
| Indústrias intensivas em energia | 6,6% |
| Outras Indústrias | 0,5% |
| Petróleo Refinado | 28,3% |
| QBPP | 4,1% |
| Serviços | 35,8% |
| Serviços de Transporte | 44,4% |
| Siderurgia e Metalurgia | 4,6% |
| Emissões Totais[19] | 0,8% |

Fonte: elaboração própria

Além disso, em 2020 o pré-sal causa um impacto positivo de 0,1% sobre as emissões de $CO_2$ equivalentes mundiais devido não só ao aumento das emissões brasileiras mas também devido ao aumento das exportações de petróleo do país, causando um efeito de aumento direto das emissões mundiais que não são contabilizados nas emissões brasileiras. Como a contabilização das emissões se dá no momento do consumo energético e não na produção do petróleo, esse cenário mostra que o Brasil se tornará um exportador de emissões. Há também um efeito indireto do aumento da oferta brasileira de petróleo na redução do preço do petróleo mundial e consequente aumento do consumo mundial dessa fonte de energia, em detrimento de outras menos poluentes. Os impactos ambientais do pré-sal no cenário 1 sugerem um desalinhamento não só com o PNMC brasileiro mas também com as diretrizes das discussões das políticas mundiais.

[19] Inclui também as emissões da demanda final das famílias, dos processos industriais não associados ao uso de energia de setores como o cimento, do desmatamento e do transporte próprio das famílias (comentário válido para todas as tabelas de emissões de $CO_2$ equivalente por fonte).

## 5.2 Cenário 2 – Projeção de produção de petróleo incluindo o pré-sal até 2090

O objetivo ao simular esse cenário foi o de estudar o impacto da curva de produção de petróleo, incluindo o pré-sal, assumida não apenas durante a expansão do recurso mas também na parte declinante após o pico de produção. É interessante o uso do EPPA para tal simulação por ser um modelo dinâmico que permite a análise da trajetória de impactos por um horizonte de tempo bastante longo. Percebe-se a partir dos resultados analisados a seguir que as trajetórias não são muitas vezes previsíveis a priori.

### 5.2.1. Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo

O impacto do pré-sal é obtido através da variação entre o cenário 2 simulado e BAU. A trajetória observada no Gráfico 3 evidencia um impacto positivo e crescente do pré-sal sobre o PIB, Investimento e Gastos do Governo até 2030 (pico de produção de petróleo no cenário 2 como pode ser observado no Gráfico 1). Após isso o impacto passa a ser decrescente, mas ainda positivo, conforme a produção de petróleo do cenário 2 diminui até se tornar negativo a partir de 2050 (quando a produção do cenário 2 se torna menor que a produção do cenário base como pode ser observado no Gráfico 1) para o PIB e Investimento e a partir de 2055 para os Gastos do governo. Isso não significa que essas variáveis decresçam ao longo do horizonte de simulação, mas sim que passam a crescer no cenário 2 com uma taxa menor que em BAU.

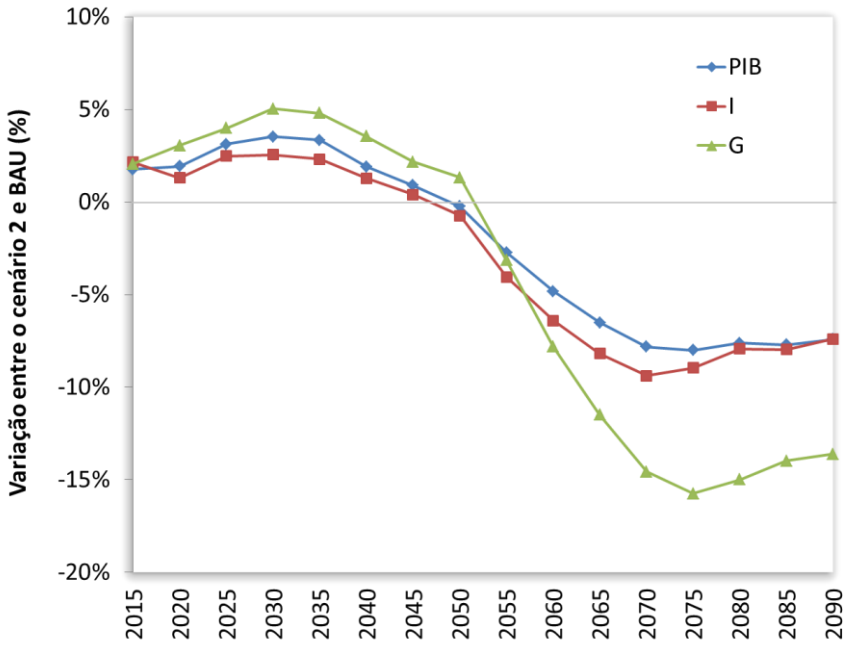



Gráfico 3 – PIB, Investimento (I) e Gastos do governo (G): variação entre o cenário 2 e BAU (%)

Fonte: elaboração própria

O sinal da variação do PIB brasileiro até o pico de produção no cenário 2 concorda com os resultados obtidos por Magalhães e Domingues (2012) até o horizonte de simulação estudado por estes (até 2020) O impacto negativo no PIB em 2090 foi de -7,4 % e as estimativas a valor presente para as diferenças entre o cenário 2 e BAU para as taxas de desconto selecionadas[20] são apresentadas na Tabela 12 abaixo. Percebe-se, por exemplo, que com uma taxa de desconto intertemporal de 3% a.a., a perda de PIB seria de $ 359 bilhões (dólares de 2004) o que equivale a 39,2% do PIB de 2010. É importante salientar que esse resultado é consequência das hipóteses assumidas em relação à trajetória de produção do pré-sal nesse cenário e a sua diferença relativa ao cenário base. Esse impacto negativo sobre o PIB depois de uma queda na produção de petróleo tem o mesmo sentido do estudado por Hogan e Naughten (1990).

[20] As taxas de descontos selecionadas foram inspiradas em FIPE e FEAM (2011).

Tabela 12 – Valor Presente da variação do PIB entre o cenário 2 e BAU acumulada de 2010 a 2090

| Período | Taxa de desconto | Em bilhões de $ de 2004 | Em % do PIB de 2010 |
|---|---|---|---|
| 2010-2090 | 0,5 % a.a. | -2.371 | -259 % |
| | 1,0 % a.a. | -1.651 | -181 % |
| | 3,0 % a.a. | -359 | -39 % |
| | 5,0 % a.a. | -39 | -4% |

Fonte: elaboração própria

A trajetória do efeito sobre o bem-estar do consumidor representativo pode ser observada na Tabela 13 abaixo. Há um impacto positivo até 2045, que como já mencionado, pode ser interpretado como um aumento no nível de consumo das famílias, e está de acordo com o resultado observado no cenário 1, já que, enquanto há uma maior oferta de recursos naturais (até 2050 nesse cenário 2), há um aumento da produção do setor de extração e produção de petróleo bruto no modelo, o que reduz seu preço no mercado doméstico. Isso estimula a produção no setor de refino de petróleo, provocando uma redução no preço do petróleo refinado (pode ser observado no Gráfico 8) e como esse produto é um insumo para outros setores, isso reduz o custo de produção dos mesmos, o que explica o aumento do consumo das famílias observado nesse cenário 2 até esse período. Ainda, o aumento na produção e exportação de petróleo aumenta a remuneração dos fatores produtivos na economia até 2045, que se reverte em renda para as famílias. Observa-se também um impacto negativo a partir de 2050 (quando a produção de petróleo no cenário 2 se torna menor que a produção em BAU), que pode ser entendido como um menor consumo das famílias. Esse fato não demonstra um consumo decrescente ao longo do tempo mas sim que o consumo das famílias no cenário 2 cresce menos do que no cenário de referência a partir de 2050. Percebe-se então um impacto negativo sobre o bem-estar do consumidor representativo no longo prazo dada as hipóteses assumidas.

Tabela 13 – Índice de bem-estar: variação entre o cenário 2 e BAU (%)

| Ano | Variação do índice de bem-estar | Variação no câmbio real (Brasil/EUA) |
|---|---|---|
| 2015 | 0,9 % | 0,9% |
| 2020 | 1,0 % | -1,5% |
| 2025 | 1,6 % | -1,5% |
| 2030 | 1,9 % | -2,3% |
| 2035 | 2,1 % | -3,1% |
| 2040 | 1,9 % | -3,0% |
| 2045 | 1,1 % | -1,2% |
| 2050 | -0,7 % | 3,2% |
| 2055 | -2,0 % | 4,3% |
| 2060 | -3,4 % | 6,6% |
| 2065 | -4,7 % | 8,6% |
| 2070 | -5,3 % | 8,9% |
| 2075 | -5,5 % | 8,7% |
| 2080 | -5,5 % | 8,7% |
| 2085 | -5,9 % | 9,0% |
| 2090 | -5,8 % | 8,7% |

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 13 observa-se também a trajetória de variação na taxa de câmbio do cenário 2 em relação ao cenário base. Há uma apreciação cambial até 2045, o que concorda com os resultados observados no cenário 1 deste trabalho e com a literatura de doença holandesa. É interessante perceber que, conforme a produção do pré-sal decai, o impacto passa a ser de depreciação cambial real, como o previsto por Hogan e Naughten (1990) após uma depleção de recursos petrolíferos na economia.

### 5.2.2. Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa

Os impactos sobre a produção de cada setor podem ser observados a partir dos gráficos 4 a 7 a seguir, que mostram a variação entre a produção setorial do cenário 2 e do cenário de referência.

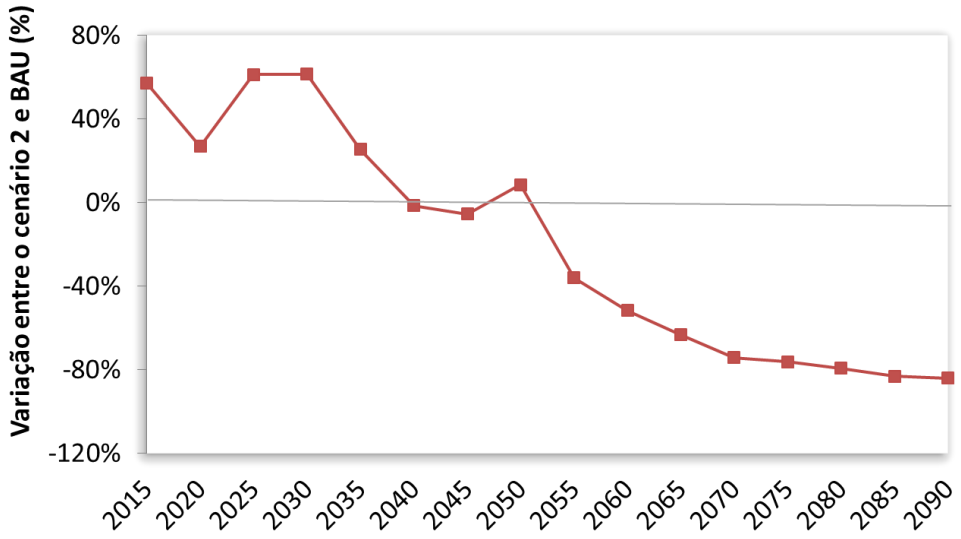



Gráfico 4 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção do setor de Petróleo refinado (%)

Fonte: elaboração própria

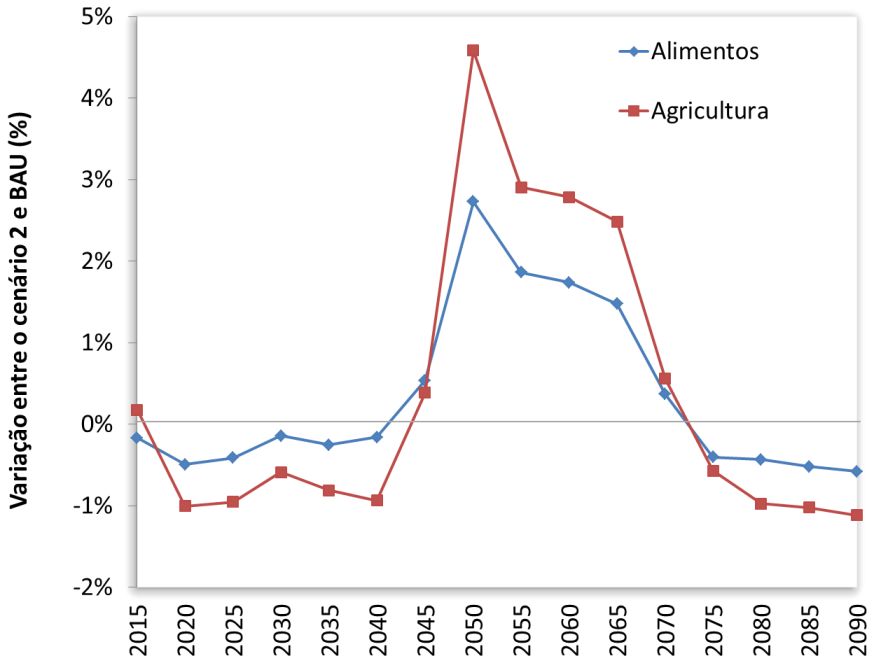



Gráfico 5 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria

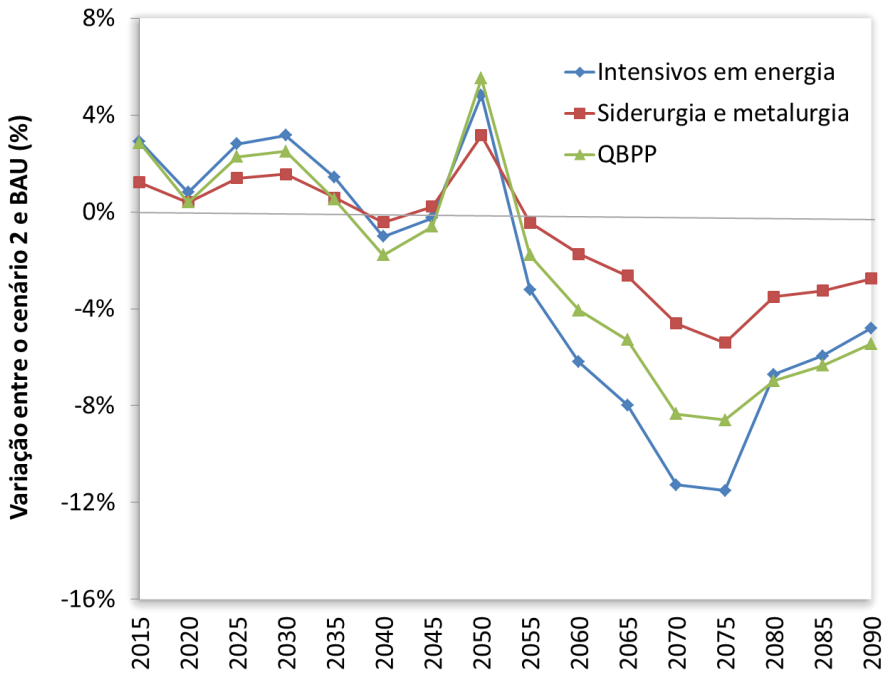



Gráfico 6 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção dos setores de Indústrias intensivas em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)

Fonte: elaboração própria

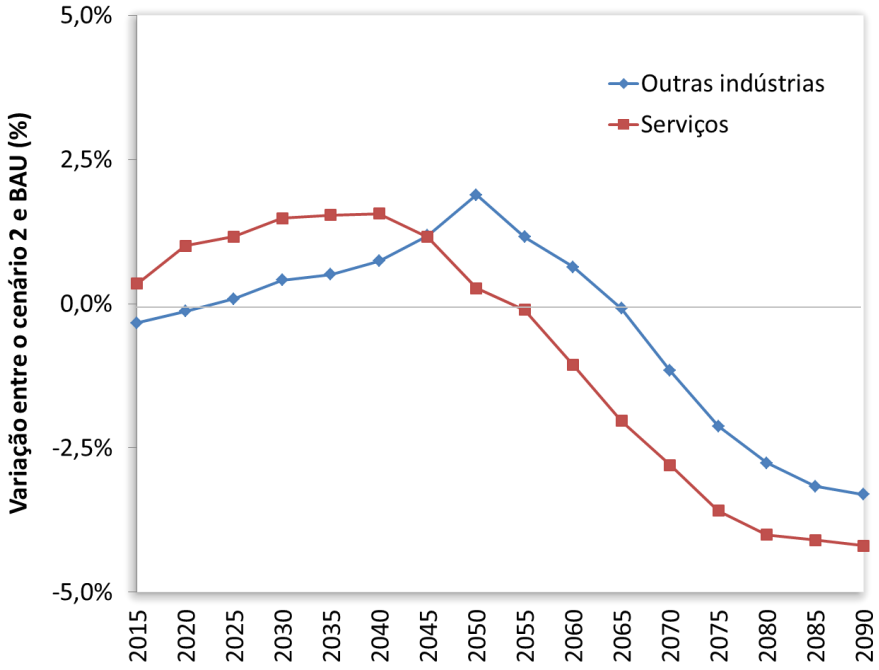



Gráfico 7 – Variação entre o cenário 2 e BAU da produção do setor Outras indústrias (%) e Serviços

Fonte: elaboração própria

Para melhor entender os resultados de impactos na produção setorial é necessário atentar-se conjuntamente para o impacto sobre a trajetória de preço do petróleo refinado no Brasil, como pode ser observado no Gráfico 8 abaixo. A trajetória mostra um preço menor no cenário 2 se comparado ao BAU até 2050 (quando a produção de petróleo do cenário 2 passa a ser menor que a do cenário base) e depois disso um preço maior no cenário 2, conforme a diminuição da produção, mas crescente até 2070 e levemente decrescente após. Percebe-se que essa trajetória não é suave e como os preços relativos (e quantidades) em um modelo de equilíbrio geral são determinados endogenamente através do equilíbrio simultâneo de diversos mercados, essa análise é útil no sentido de permitir observar uma trajetória, dependente das hipóteses assumidas, que não seria conhecida a priori e não só uma estática comparativa ao fim do período de simulação. Deve-se ressaltar que as diversas mudanças de inclinação das trajetórias de preço e produção do setor de refino do petróleo no modelo são ocasionadas pelas diversas possibilidades a que este setor está sujeito, tanto pelo lado da oferta quanto da demanda. O seu principal insumo, petróleo bruto, pode tanto ser usado para refino domesticamente quanto exportado como uma *commodity* homogênea nos mercados internacionais. O seu produto, por sua vez, pode ser exportado como bem de substituição imperfeita ou pode ser usado domesticamente como insumo ou fonte de energia, principalmente pelo setor de transportes. No caso do Brasil, este produto pode ser substituído pelo etanol, que é produzido em larga escala no país. Dessa forma, essas diversas possiblidades levam às alterações frequentes nas trajetórias de produção deste setor.

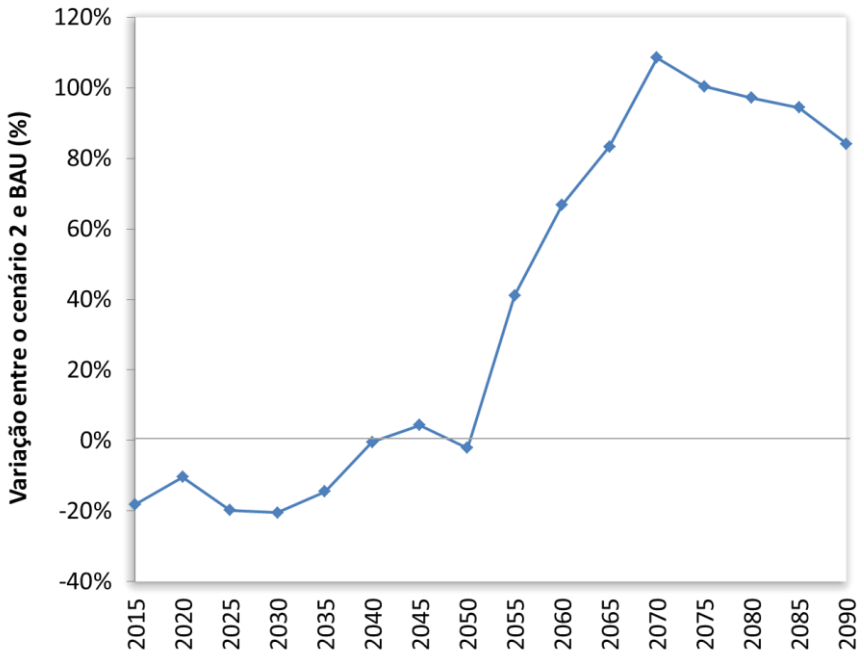



Gráfico 8 – Variação entre o Cenário 2 e BAU do preço do Petróleo refinado no Brasil (%)

Fonte: elaboração própria

Ao analisar os resultados anteriores sobre a produção setorial[21] percebe-se que até 2030 os setores impactados negativamente foram os de Alimentos e Agricultura. Já os setores de Indústrias intensivas em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP sofreram um impacto positivo acompanhando a trajetória da produção do setor de petróleo refinado. O setor de Outras Indústrias sofre um impacto negativo até 2020 e a partir daí um impacto positivo e crescente até 2050. O setor de Serviços também é impactado positivamente até 2030 o que coincide com os sentidos observados no cenário 1. A partir de 2035, diversos setores revertem a direção das trajetórias de produção observadas até então. É interessante notar que em 2055 (um período após a produção no cenário 2 se tornar menor que no cenário de referência) há uma inversão no sentido dos impactos setoriais com exceção do setor de outras indústrias que continua sendo impactado positivamente até 2060. No fim do horizonte de simulação percebe-se uma produção menor em todos no cenário 2 se comparado a BAU. Ao se observar os gráficos do apêndice B percebe-se que os impactos sobre as exportações dos setores de Alimentos, Agricultura, Indústrias intensivas em energia, Siderurgia e metalurgia e Petróleo refinado acompanham a trajetória dos impactos na produção.

[21] Para uma representação mais detalhada do impacto do choque de pré-sal simulado nesse cenário sobre as exportações e importações de cada setor ver os gráficos D1 a D8 do Apêndice D.

Percebe-se então através das análises acima realizadas que dada a hipótese de trajetória de produção de petróleo assumida no cenário 2 em comparação ao cenário base, há no fim do horizonte de simulação um impacto negativo não só sobre o PIB e bem-estar mas também sobre a produção de todos os setores da economia.

Um último aspecto relevante a ser estudado para esse cenário diz respeito às mudanças nas trajetórias de demandas de fatores produtivos que podem ser observados nas Tabelas 14 e 15 abaixo. No pico de produção, percebe-se que os setores de Alimentos e Agricultura sofrem um impacto negativo na demanda por capital e todos os outros setores um impacto positivo. Mas quando se analisa a demanda por trabalho percebe-se o mesmo resultado que o cenário 1, com um aumento da demanda por esse fator no setor de *boom* e de Serviços (como descrito pela literatura clássica de doença holandesa). Os sentidos dos impactos sobre a demanda de trabalho persistem no fim do período simulado o que parece indicar uma desindustrialização relativa dos outros setores produtivos. Quando se analisa a demanda de capital no fim do período percebe-se um aumento na demanda de capital de todos os setores. Isso é possível devido ao maior nível de investimentos e, portanto, de acúmulo do capital na primeira metade do horizonte temporal do modelo no cenário 2, que faz com que o estoque de capital total seja maior no cenário 2 do que no BAU.

Tabela 14 – Variação na demanda por capital entre o cenário 2 e BAU

| | **Alim.** | **Agric.** | **Int. em energia** | **Outras indústrias** | **Petróleo bruto** | **Petróleo refinado** | **QBPP** | **Serviços** | **Siderurgia e Metalurgia** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2015** | -0,4% | -9,2% | 0,9% | -0,3% | 19,4% | 58,9% | 0,7% | 0,8% | -0,2% |
| **2020** | -0,4% | -7,4% | -0,5% | 0,0% | 34,3% | 30,2% | -0,4% | 2,5% | 0,2% |
| **2025** | -0,3% | -9,9% | 0,7% | 0,3% | 40,9% | 75,1% | 0,5% | 3,2% | 0,5% |
| **2030** | -0,2% | -9,3% | 0,2% | 0,6% | 54,4% | 81,8% | 0,2% | 4,4% | 0,5% |
| **2035** | -1,0% | -3,0% | -3,1% | 0,5% | 102,4% | 32,9% | -3,4% | 5,0% | -1,1% |
| **2040** | -0,9% | -3,1% | -4,2% | 0,9% | 143,1% | 6,5% | -4,4% | 5,9% | -0,9% |
| **2045** | -0,1% | -1,8% | -1,8% | 1,7% | 123,0% | 18,6% | -2,4% | 6,0% | 0,1% |
| **2050** | 1,8% | 2,0% | 3,3% | 2,8% | 34,5% | 62,3% | 2,6% | 5,6% | 2,1% |
| **2055** | 2,2% | 2,2% | 2,4% | 2,8% | 26,9% | 38,9% | 2,8% | 5,5% | 2,7% |
| **2060** | 2,2% | 2,0% | 1,9% | 2,8% | 28,6% | 32,2% | 2,6% | 4,7% | 2,7% |
| **2065** | 2,2% | 2,1% | 1,8% | 2,7% | 30,0% | 26,3% | 2,6% | 4,2% | 2,9% |
| **2070** | 2,3% | 2,3% | 2,1% | 2,6% | 41,3% | 27,9% | 2,8% | 3,9% | 3,2% |
| **2075** | 2,9% | 2,1% | 1,2% | 2,7% | 72,5% | 39,1% | 2,7% | 4,4% | 3,9% |
| **2080** | 1,6% | 1,2% | 1,9% | 1,8% | 89,6% | 34,0% | 1,0% | 2,4% | 1,3% |
| **2085** | 1,5% | 1,3% | 1,7% | 1,5% | 54,0% | 13,7% | 1,3% | 2,3% | 1,5% |
| **2090** | 1,3% | 1,1% | 1,5% | 1,2% | 34,7% | 5,9% | 1,2% | 1,7% | 1,3% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia
Fonte: elaboração própria

Tabela 15 – Variação na demanda por trabalho entre o cenário 2 e BAU

| | Alim. | Agric. | Int. em energia | Outras indústrias | Petróleo bruto | Petróleo refinado | QBPP | Serviços | Siderurgia e Metalurgia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2015** | -0,9% | -9,6% | 0,6% | -0,9% | 18,6% | 57,9% | 0,0% | 0,1% | -0,9% |
| **2020** | -1,8% | -8,4% | -1,9% | -1,4% | 31,7% | 27,7% | -2,3% | 0,6% | -1,7% |
| **2025** | -2,5% | -11,5% | -1,5% | -1,8% | 37,2% | 70,5% | -2,1% | 0,5% | -2,1% |
| **2030** | -3,2% | -11,6% | -2,8% | -2,4% | 48,9% | 75,4% | -3,4% | 0,7% | -3,1% |
| **2035** | -4,4% | -6,4% | -6,6% | -3,0% | 94,9% | 28,0% | -7,0% | 1,2% | -4,7% |
| **2040** | -4,7% | -7,0% | -8,1% | -3,0% | 133,1% | 2,1% | -8,4% | 1,5% | -5,0% |
| **2045** | -4,3% | -6,0% | -6,0% | -2,6% | 113,0% | 13,3% | -6,8% | 1,3% | -4,3% |
| **2050** | -2,8% | -2,7% | -1,3% | -1,8% | 28,2% | 54,7% | -2,2% | 0,7% | -2,7% |
| **2055** | -2,3% | -2,4% | -2,1% | -1,7% | 21,3% | 32,8% | -1,7% | 0,8% | -1,9% |
| **2060** | -1,9% | -2,1% | -2,2% | -1,4% | 23,7% | 27,2% | -1,3% | 0,7% | -1,2% |
| **2065** | -1,5% | -1,7% | -2,0% | -1,1% | 25,5% | 22,0% | -0,9% | 0,7% | -0,7% |
| **2070** | -1,2% | -1,2% | -1,4% | -0,9% | 36,8% | 23,7% | -0,5% | 0,6% | -0,1% |
| **2075** | -0,8% | -1,5% | -2,4% | -1,0% | 66,3% | 34,1% | -1,0% | 0,6% | 0,2% |
| **2080** | -0,9% | -1,3% | -0,6% | -0,7% | 85,8% | 31,3% | -1,0% | 0,4% | -0,7% |
| **2085** | -0,7% | -0,9% | -0,5% | -0,8% | 51,1% | 11,6% | -0,6% | 0,4% | -0,4% |
| **2090** | -0,5% | -0,6% | -0,3% | -0,5% | 32,8% | 4,4% | -0,3% | 0,3% | -0,2% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia
Fonte: elaboração própria

### 5.2.3. Impactos ambientais

A Tabela 16 abaixo mostra a variação nas emissões setoriais e totais brasileiras entre o cenário 2 e o BAU em 2030, no pico de produção de petróleo projetado, e no fim do horizonte de simulação. Percebe-se que, apesar de em 2090 haver um impacto negativo nas emissões totais devido principalmente à menor produção setorial no fim do horizonte de simulação no cenário 2 se comparado a BAU (inclusive do setor de petróleo), em 2030 há um aumento dessas emissões em 8,3%.

Tabela 16 – Emissões de $CO_2$ equivalente por fonte – Variação entre o cenário 2 e BAU em 2030 e 2090 (%)

| Fonte | 2030 | 2090 |
|---|---|---|
| Agricultura | 0,3 % | -1,8 % |
| Alimentos | 6,3 % | 0,1 % |
| Indústrias intensivas em energia | 11,2 % | -20,3 % |
| Outras Indústrias | 1,9 % | -2,0 % |
| Petróleo Refinado | 36,5 % | -62,0 % |
| QBPP | 6,6 % | -7,2 % |
| Serviços | 37,7 % | -25,1 % |
| Serviços de Transporte | 44,5 % | -39,1 % |
| Siderurgia e Metalurgia | 6,2 % | -4,0 % |
| Emissões Totais | 8,3 % | -8,3 % |

Fonte: elaboração própria

Além disso, em 2030 o pré-sal causa um impacto positivo de 0,4% de aumento nas emissões de $CO_2$ equivalentes mundiais devido, como já foi mencionado na seção 5.1.3, não só ao aumento das emissões brasileiras mas também devido ao aumento das exportações de petróleo do país, causando um efeito de aumento direto das emissões mundiais que não são

contabilizados nas emissões brasileiras, indicando que o Brasil se tornará um exportador de emissões. Há também um efeito indireto do aumento da oferta brasileira de petróleo por pressionar uma redução do preço do petróleo mundial e aumentar o consumo mundial dessa fonte de energia, em detrimento de outras menos poluentes. Além disso, o impacto sobre as emissões brasileiras e mundiais totais no acumulado de 2010-2090 é positivo de 3,1% e de 0,2% respectivamente o que indica que os impactos ambientais do pré-sal obtidos a partir desse cenário simulado não são condizentes com a política climática brasileira nem com as discussões climáticas mundiais.

## 5.3 Cenário 3 – Pré-sal como tecnologia *backstop* no EPPA

A fim de estudar o impacto de uma hipótese alternativa sobre a curva de produção do pré-sal procurou-se a partir desse cenário 3 analisar os impactos do modelo EPPA modificado para incorporar a tecnologia do pré-sal de forma endógena, associada a uma curva de subsídios decrescentes.

### 5.3.1 Impactos macroeconômicos e sobre o bem-estar do consumidor representativo

A trajetória no Gráfico 9 abaixo mostra que o impacto do pré-sal sobre o PIB no terceiro cenário é negativo por todo o período, se agravando na presença do subsídio necessário para que a sua produção comece antes de 2030 e se tornando menos negativo a partir da retirada dos subsídios. O impacto negativo se faz presente pela ótica do dispêndio também no que diz respeito aos investimentos agregados e em maior grau nos gastos do governo. Novamente cabe ressaltar que isso não significa que o PIB, investimento e gastos do governo decrescem ao longo do tempo mas sim que são maiores no cenário de referência.

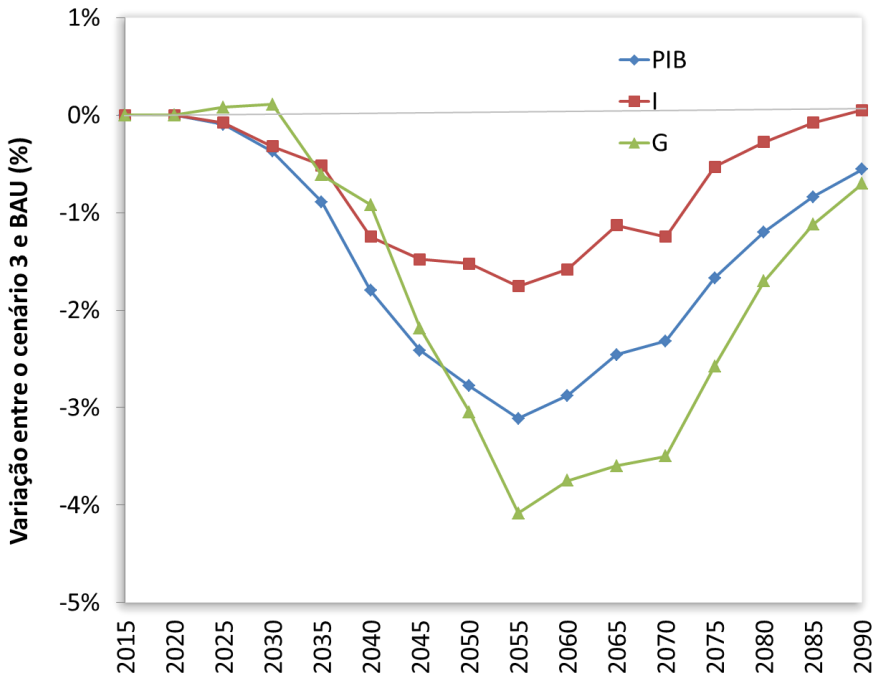



Gráfico 9 – PIB, Investimento (I) e Gastos do governo: variação entre o cenário 3 e BAU (%)

Fonte: elaboração própria

O impacto negativo no PIB em 2090 foi de -0,6 %. As estimativas a valor presente para as diferenças entre o cenário 3 e BAU para as taxas de desconto selecionadas[22] são apresentadas na Tabela 17 abaixo. Percebe-se, por exemplo, que com uma taxa de desconto intertemporal de 3,0% a.a., a perda de PIB seria de $ 235 bilhões (dólares de 2004) o que equivale a 26% do PIB de 2010. O impacto negativo apresentado coincide com o sentido dos resultados do cenário 2 e apesar do cenário 3 apresentar um impacto negativo por todo o período de simulação, os resultados são menos negativos que o cenário 2 devido à diferença de produção observada entre aquele cenário e o cenário de referência depois de 2050. Percebe-se então uma grande dependência da magnitude dos impactos às hipóteses assumidas.

Tabela 17– Valor Presente da variação do PIB entre o cenário 3 e BAU acumulada de 2010 a 2090

| Período | Taxa de desconto | Em $ bilhões de 2004 | Em % do PIB de 2010 |
|---|---|---|---|
| 2010-2090 | 0,5 % a.a. | -825 | -90% |
| | 1,0 % a.a. | -634 | -69% |
| | 3,0 % a.a. | -235 | -26% |
| | 5,0 % a.a. | -93 | -10% |

Fonte: elaboração própria

[22] As taxas de descontos selecionadas foram inspiradas em FIPE e Feam (2011)

Através da observação da Tabela 18 abaixo se percebe que, se o cenário sem subsídio fosse considerado, o impacto sobre o PIB seria positivo ou nulo até 2055. E que a curva de subsídios, que permite que o pré-sal (que possui um custo mais elevado de produção que o petróleo convencional) seja desenvolvido num período anterior ao resultado endógeno do modelo, impacta negativamente o PIB, pois esses recursos poderiam ser investidos em outros setores ou mesmo distribuídos via transferência de renda às famílias, fomentando a produção e o consumo. Percebe-se também um gasto do governo em relação ao PIB maior no cenário com subsídio se comparado ao cenário sem subsídio enquanto os subsídios não começam a ser gradativamente retirados.

Tabela 18 – PIB: variação entre o cenário 3 e BAU e cenário 3 sem subsídio e BAU (%)

| | **PIB** | | **Investimento/PIB** | | **Gastos do Governo/PIB** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Entre cenário 3 e BAU | Entre cenário 3 sem subsídio e BAU | Entre cenário 3 e BAU | Entre cenário 3 sem subsídio e BAU | Entre cenário 3 e BAU | Entre cenário 3 sem subsídio e BAU |
| 2015 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2020 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2025 | -0,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,2% | 0,0% |
| 2030 | -0,4% | 0,0% | 0,1% | 0,0% | 0,5% | -0,1% |
| 2035 | -0,9% | 0,0% | 0,4% | 0,0% | 0,3% | -0,1% |
| 2040 | -1,8% | 0,0% | 0,6% | 0,0% | 0,9% | 0,0% |
| 2045 | -2,4% | 0,1% | 1,0% | 0,0% | 0,2% | 0,0% |
| 2050 | -2,8% | 0,2% | 1,3% | 0,1% | -0,3% | 0,3% |
| 2055 | -3,1% | 0,0% | 1,4% | 0,2% | -1,0% | 0,0% |
| 2060 | -2,9% | -0,1% | 1,3% | 0,5% | -0,9% | 0,1% |
| 2065 | -2,5% | -0,1% | 1,4% | 0,7% | -1,2% | 0,3% |
| 2070 | -2,3% | -0,4% | 1,1% | 0,8% | -1,2% | 0,1% |
| 2075 | -1,7% | -0,5% | 1,2% | 1,0% | -0,9% | -0,1% |
| 2080 | -1,2% | -0,3% | 0,9% | 1,2% | -0,5% | 0,3% |
| 2085 | -0,8% | 0,0% | 0,8% | 1,2% | -0,3% | 0,6% |
| 2090 | -0,6% | 0,2% | 0,6% | 1,0% | -0,2% | 0,8% |

Fonte: Elaboração própria

A trajetória do efeito sobre o bem-estar do consumidor representativo captado pela variação entre o cenário 3 e BAU pode ser observado na tabela 19 abaixo. A trajetória se compara à trajetória de variação do PIB brasileiro entre os cenários com e sem subsídio. Percebe-se que no cenário com subsídio o bem-estar do consumidor representativo é impactado negativamente por todo o período, o que concorda com o sentido explicado anteriormente do custo infligido à sociedade pela alocação de recursos em um setor que, a princípio, não seria competitivo. Percebe-se novamente em 2090 um impacto negativo menor que o obtido no cenário 2 devido às hipóteses sobre a produção de pré-sal em ambos os

cenários (no cenário 2 a curva de produção do pré-sal sugere um nível de produto bem inferior à trajetória de produção sem o pré-sal a partir da metade do horizonte simulado).

Tabela 19 – Índice de bem-estar: variação entre o cenário 3 e BAU (%)

| | **Entre cenário 3 e BAU** | **Entre cenário 3 sem subsídio e BAU** |
|---|---|---|
| 2015 | 0,0% | 0,0% |
| 2020 | 0,0% | 0,0% |
| 2025 | -0,2% | 0,0% |
| 2030 | -0,8% | 0,1% |
| 2035 | -1,0% | 0,2% |
| 2040 | -2,2% | 0,1% |
| 2045 | -2,9% | 0,0% |
| 2050 | -3,2% | -0,3% |
| 2055 | -3,0% | -0,2% |
| 2060 | -3,4% | -0,4% |
| 2065 | -2,9% | -0,7% |
| 2070 | -2,3% | -0,7% |
| 2075 | -2,0% | -0,6% |
| 2080 | -1,5% | -0,9% |
| 2085 | -1,1% | -0,8% |
| 2090 | -0,8% | -0,6% |

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 20 abaixo se observa a trajetória de variação na taxa de câmbio do cenário 3 com subsídio em relação ao cenário base. Para uma representação mais detalhada do impacto do choque de pré-sal simulado nesse cenário sobre as exportações e importações de cada setor ver os gráficos do Apêndice C. Há uma leve depreciação cambial (na comparação entre o cenário 3 e BAU) até que quantidades significativas do recurso comecem a ser produzidas, uma apreciação cambial enquanto há crescimento da produção de pré-sal (como no cenário 2) e novamente uma leve depreciação cambial a partir da queda de produção do pré-sal. Esses resultados sugerem a possibilidade de doença holandesa no período de maior expansão da produção.

Tabela 20– Índice de câmbio real: variação entre o cenário 3 e BAU (%)

| | Entre cenário 3 e BAU |
|---|---|
| 2015 | 0,4% |
| 2020 | 0,4% |
| 2025 | 0,3% |
| 2030 | 0,0% |
| 2035 | -3,2% |
| 2040 | -2,5% |
| 2045 | -2,0% |
| 2050 | -1,7% |
| 2055 | -2,1% |
| 2060 | 0,5% |
| 2065 | 0,3% |
| 2070 | -0,1% |
| 2075 | 0,6% |
| 2080 | 0,3% |
| 2085 | 0,1% |
| 2090 | 0,0% |

Fonte: Elaboração própria

### 5.3.2 Impactos setoriais e sintomas de doença holandesa

Os impactos sobre a produção de cada setor podem ser observados a partir dos gráficos 10 a 13 a seguir, que mostram a variação entre a produção setorial do cenário 3 e do cenário de referência.

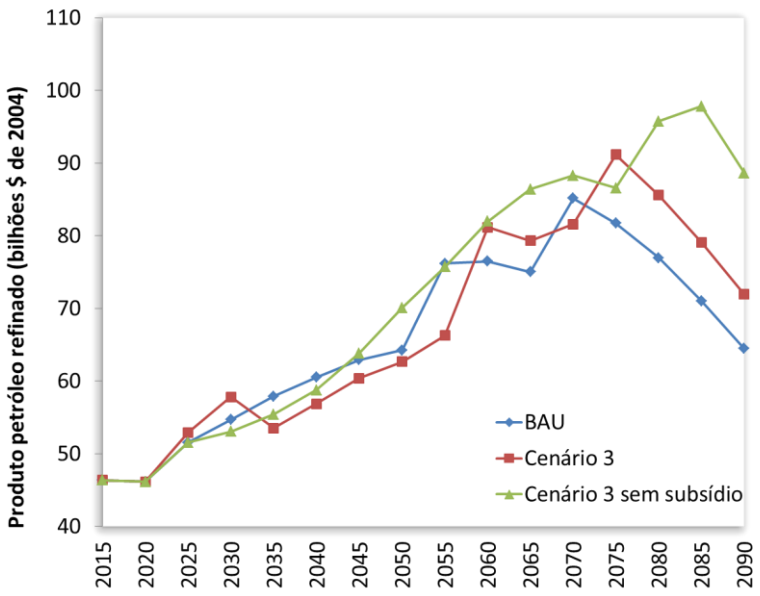



Gráfico 10 – Variação entre o cenário 3, cenário 3 sem subsídio e BAU da produção do setor de Petróleo refinado (%)

Fonte: elaboração própria

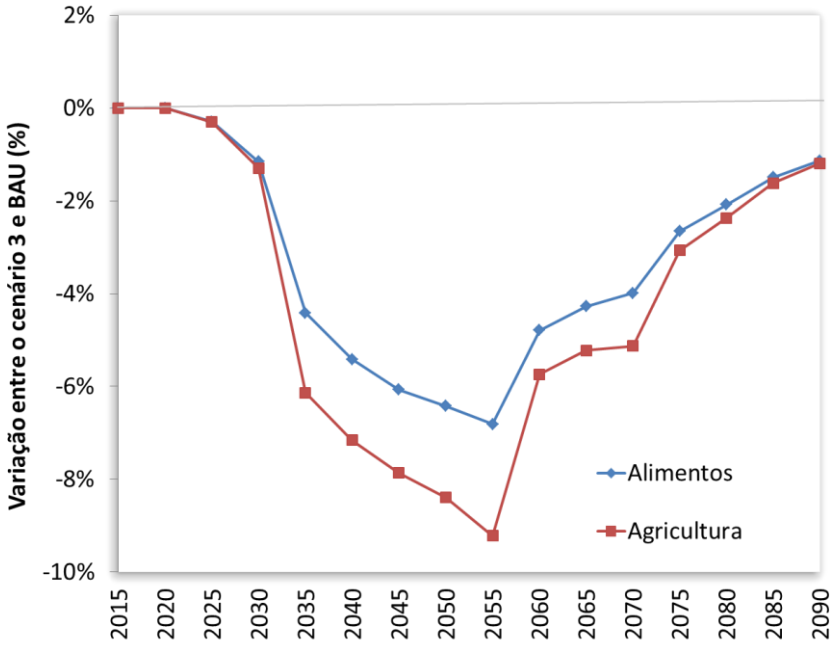



Gráfico 11 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria

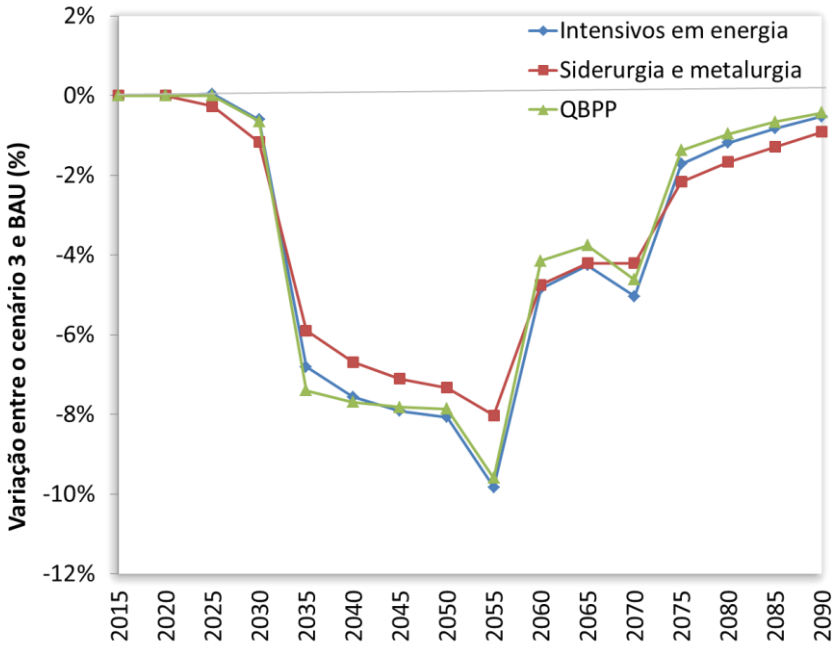



Gráfico 12 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção dos setores de Indústria de intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)

Fonte: elaboração própria

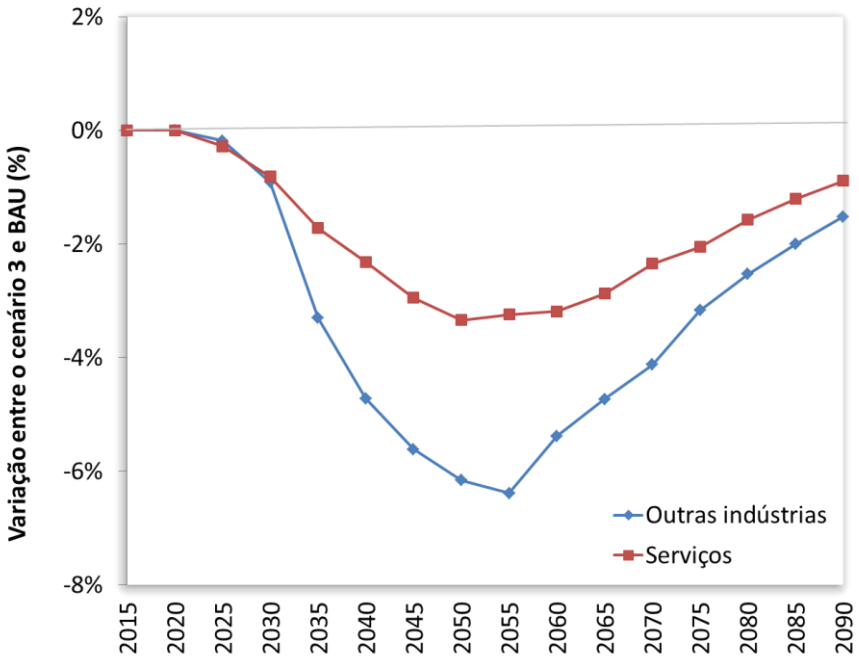



Gráfico 13 – Variação entre o cenário 3 e BAU da produção do setor Outras indústrias e Serviços (%)

Fonte: elaboração própria

Quanto à produção setorial optou-se por não mostrar a variação entre os cenários na produção de petróleo refinado mas sim o valor da produção do cenário 3, do cenário 3 sem subsídios e do cenário de referência, para poder entender o impacto de cada uma dessas hipóteses. Percebe-se que a curva de produção não é suave no cenário de referência o que faz com a variação dos outros setores tenha alguns trechos de quinas também. Esse resultado mostra que o setor alterna entre exportar o petróleo bruto em alguns períodos e utilizar uma maior porcentagem dessa produção no setor de refino. Isso ocorre já que o petróleo bruto é considerado produto homogêneo no comércio internacional e ao mesmo tempo ser o único insumo do setor de refino, e portanto, passível de ter sua produção direcionada rapidamente e em grande volume para exportação ou refino. Um outro fator que explica esse comportamento não suave da curva de refino é a influência da produção de etanol, que compete com o petróleo refinado no setor de transportes.

Quanto às trajetórias de produção dos outros setores, percebe-se que todos são impactados negativamente durante todo o período pela comparação entre o cenário 3 subsidiado e o cenário de referência, principalmente pela hipótese assumida de desenvolvimento do pré-sal que recebe recursos, principalmente capital, que seriam alocados

naturalmente em outros setores, mas de uma maneira não suave como pode ser visto nas Tabelas 21 e 22. Com a redução gradativa dos subsídios a alocação de recursos vai se normalizando na economia, melhorando a eficiência alocativa, o que impulsiona a diminuição das perdas de produção setoriais também de maneira gradativa em relação ao cenário BAU, mas sem nunca apresentar resultados positivos.

Quanto à demanda por trabalho, percebe-se no período de maior produção de pré-sal um deslocamento do recurso para o setor de Petróleo (e em menor grau para o de Outras Indústrias) a partir dos demais setores (principalmente o de Indústrias Intensivas em energia, QBPP e Siderurgia e Metalurgia).

Tabela 21 – Variação na demanda por capital entre o cenário 3 e BAU

| | **Alim.** | **Agric.** | **Int. em energia** | **Outras indústrias** | **Petróleo bruto[23]** | **Petróleo refinado** | **QBPP** | **Serviços** | **Siderurgia e Metalurgia** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2020 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2025 | -0,4% | -0,5% | -0,3% | -0,3% | 13,6% | 2,5% | -0,5% | -0,6% | -0,7% |
| 2030 | -1,7% | -1,9% | -1,7% | -1,3% | 38,9% | 4,9% | -2,2% | -2,2% | -2,7% |
| 2035 | -5,9% | -7,2% | -8,5% | -4,3% | 129,5% | -9,6% | -10,1% | -5,8% | -9,0% |
| 2040 | -7,9% | -9,1% | -10,4% | -6,3% | 126,0% | -9,1% | -11,8% | -8,2% | -11,3% |
| 2045 | -9,5% | -10,6% | -11,9% | -7,8% | 122,6% | -8,0% | -13,0% | -10,3% | -12,9% |
| 2050 | -10,6% | -11,7% | -13,0% | -8,8% | 118,3% | -7,0% | -13,8% | -11,5% | -13,9% |
| 2055 | -11,2% | -12,7% | -14,2% | -9,2% | 141,5% | -17,1% | -14,5% | -11,5% | -13,9% |
| 2060 | -9,3% | -9,4% | -10,4% | -8,2% | 64,3% | 1,7% | -10,2% | -10,6% | -11,1% |
| 2065 | -8,5% | -8,7% | -9,7% | -7,3% | 58,8% | 1,8% | -9,3% | -9,6% | -10,1% |
| 2070 | -7,6% | -8,1% | -9,1% | -6,4% | 65,7% | -7,2% | -8,4% | -8,0% | -8,5% |
| 2075 | -6,0% | -5,7% | -6,5% | -5,2% | 26,0% | 8,7% | -6,0% | -6,7% | -6,8% |
| 2080 | -4,9% | -4,7% | -5,6% | -4,2% | 21,0% | 9,0% | -4,9% | -5,3% | -5,5% |
| 2085 | -3,8% | -3,6% | -4,8% | -3,4% | 18,8% | 9,6% | -4,0% | -4,2% | -4,5% |
| 2090 | -3,0% | -2,9% | -4,0% | -2,6% | 17,2% | 10,2% | -3,1% | -3,2% | -3,5% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia
Fonte: elaboração própria

[23] Inclui produção de pré-sal

Tabela 22 – Variação na demanda por trabalho entre o cenário 3 e BAU

| | Alim. | Agric. | Int. em energia | Outras indústrias | Petróleo bruto[24] | Petróleo refinado | QBPP | Serviços | Siderurgia e Metalurgia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2015 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2020 | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| 2025 | -0,2% | -0,2% | 0,0% | 0,0% | 19,9% | 2,9% | 0,0% | -0,2% | -0,3% |
| 2030 | -0,6% | -0,7% | -0,5% | 0,0% | 48,1% | 6,8% | -0,4% | -0,4% | -0,9% |
| 2035 | -2,5% | -3,8% | -5,4% | -0,6% | 144,5% | -4,6% | -5,1% | -0,6% | -4,0% |
| 2040 | -2,3% | -3,3% | -5,0% | -0,4% | 140,9% | -1,5% | -4,4% | -0,6% | -3,9% |
| 2045 | -1,7% | -2,7% | -4,3% | 0,3% | 138,0% | 1,7% | -3,8% | -0,8% | -3,7% |
| 2050 | -1,2% | -2,3% | -3,8% | 0,9% | 135,1% | 4,2% | -3,5% | -0,9% | -3,6% |
| 2055 | -1,0% | -2,7% | -4,3% | 1,2% | 162,4% | -7,0% | -4,1% | -0,8% | -3,4% |
| 2060 | 0,6% | 0,5% | -0,6% | 1,9% | 77,0% | 12,6% | -0,5% | -1,0% | -1,6% |
| 2065 | 0,7% | 0,5% | -0,6% | 2,0% | 70,5% | 11,5% | -0,7% | -1,0% | -1,5% |
| 2070 | 0,6% | -0,1% | -1,1% | 1,8% | 77,2% | 0,2% | -1,1% | -0,7% | -1,2% |
| 2075 | 1,0% | 1,1% | 0,4% | 1,8% | 34,1% | 15,7% | 0,1% | -0,8% | -0,8% |
| 2080 | 0,8% | 0,9% | 0,0% | 1,5% | 28,0% | 14,4% | -0,1% | -0,6% | -0,8% |
| 2085 | 0,8% | 0,8% | -0,3% | 1,2% | 24,8% | 13,9% | -0,2% | -0,4% | -0,8% |
| 2090 | 0,6% | 0,6% | -0,4% | 1,0% | 22,2% | 13,5% | -0,2% | -0,3% | -0,6% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia
Fonte: elaboração própria

É interessante notar que dada as hipóteses assumidas quanto ao custo do pré-sal e a presença de subsídio, os sintomas clássicos de doença holandesa mostram-se presentes apenas durante a expansão subsidiada do setor. No período de declínio da produção o pré-sal, não se apresentam aqui os sintomas clássicos de doença holandesa. Mas mais que isso, percebe-se que apesar das limitações de dados e da dependência das hipóteses, o cenário que modela o pré-sal como uma tecnologia backstop permite uma representação dos custos do desenvolvimento do pré-sal, que é uma fonte com produção mais cara que o petróleo convencional, e que gera uma alocação ineficiente de recursos escassos nesse setor. Dada as hipóteses assumidas percebe-se um impacto negativo não só sobre e PIB e bem-estar do consumidor representativo mas sobre a produção de todos os outros setores da economia em graus e trajetórias diferentes.

### 5.3.3 Impactos ambientais

A tabela 23 abaixo mostra a variação nas emissões setoriais no fim do horizonte de simulação, onde se percebe um aumento das emissões totais em 0,2%. Ainda, há um aumento das emissões mundiais em 0,1% em 2090. É importante ressaltar que todos os impactos ambientais simulados estão subavaliados neste estudo já que só se considera as emissões associadas ao refino, e como exposto na revisão bibliográfica, uma das preocupações ambientais relacionadas ao pré-sal é o alto volume de gás carbônico associado ao gás do campo produtor, não consideradas no modelo EPPA por escassez de dados e incerteza em

[24] Inclui produção de pré-sal

informações que permitam atribuir coeficientes de emissões confiáveis ao volume extraído de pré-sal.

Tabela 23 – Emissões de CO2 equivalente por fonte – Variação entre o cenário 3 e BAU em 2090 (%)

| **Fonte** | **Variação entre cenário 3 e BAU (%)** |
|---|---|
| Agricultura | -1,0 % |
| Alimentos | 1,0 % |
| Indústrias intensivas em energia | 2,6 % |
| Outras Indústrias | -1,1 % |
| Petróleo Refinado | 3,8 % |
| QBPP | 0,7 % |
| Serviços | 3,3 % |
| Serviços de Transporte | 4,8 % |
| Siderurgia e Metalurgia | 0,0 % |
| Emissões Totais | 0,2 % |

Fonte: elaboração própria

O impacto sobre as emissões brasileiras e mundiais totais no acumulado de 2010-2090 é de -2,6% e de 0,1% respectivamente. O impacto negativo no caso brasileiro se deve a menor produção setorial no cenário 3 em relação ao cenário base.

Ao comparar os resultados dos cenários 2 e 3 e as diferenças significativas a partir das hipóteses consideradas fica claro o espaço que existe na literatura para simulações com hipóteses e estudos alternativos principalmente no que diz respeito ao cenário de longo prazo.

# 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho objetivou investigar os possíveis impactos macroeconômicos, setoriais, e ambientais associados ao aumento de produção de petróleo esperado com o desenvolvimento do pré-sal. O estudo considerou a possibilidade de doença holandesa bem como a projeção dos impactos de longo prazo (até 2090), considerando o declínio esperado da produção de petróleo no tempo. Utilizou-se para tal o modelo de equilíbrio geral computável dinâmico EPPA. Além disso procurou-se estudar os impactos associados à produção de petróleo a partir desse novo recurso através de um cenário em que a produção fosse gerada endogenamente por um novo setor do modelo e subsídios governamentais estivessem presentes. O modelo utilizado possui características específicas que o tornam útil para este trabalho já que, por ser um modelo de equilíbrio dinâmico recursivo, permite que se estude a trajetória dos impactos de longo prazo e não apenas uma comparação estática depois do choque. Além disso, o modelo permite o estudo das trajetórias de demandas setoriais por trabalho e capital, o que o torna útil para a análise de sintomas de doença holandesa. Por ser um modelo desenvolvido para o estudo de políticas energéticas e ambientais, permite projetar as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção do pré-sal e de seus efeitos na economia.

Os resultados obtidos mostram que no cenário de médio prazo, até 2020, o impacto do aumento da produção de pré-sal previsto pela Empresa de Pesquisa Energética do governo foi positivo sobre o PIB brasileiro e o bem-estar do consumidor representativo, mas observaram-se sintomas de doença holandesa a partir da apreciação cambial real no período e desindustrialização dos setores de Agricultura, Alimentos e Outras indústrias. Desindustrialização essa captada pelo impacto negativo sobre a produção e pelo deslocamento de capital e trabalho para o setor de expansão de recursos naturais e para o setor de Serviços (considerado o setor não comercializável). A queda de produção desses três setores foi acompanhada do aumento das importações e diminuição das exportações setoriais. Os setores impactados positivamente neste cenário foram, além dos dependentes de petróleo que se beneficiaram de uma diminuição do preço deste (Indústrias intensivas em energia, QBPP, Serviços de Transporte e Siderurgia e Metalurgia), o setor de Serviços como esperado pelo modelo clássico de doença holandesa. Cabe ressaltar que a hipótese de fechamento do modelo assumida no EPPA no que diz respeito ao agente governamental, que possui uma taxa de poupança constante, não desconsidera uma possível mitigação dos sintomas de doença

holandesa que poderiam ser obtidos a partir de ações governamentais. Observou-se também, quanto aos impactos ambientais um aumento das emissões totais brasileiras e mundiais no período, o que demonstra um descompasso entre as recentes políticas climáticas brasileiras e o incentivo ao pré-sal.

Para estudar os impactos no longo prazo da expansão e declínio da produção de petróleo devido ao pré-sal utilizaram-se dois cenários alternativos, que foram comparados ao cenário de referência do modelo. Em um deles se simulou um choque na quantidade de recursos de petróleo presentes na economia de forma que a produção do setor petrolífero atingisse uma projeção construída a partir da ideia da curva de Hubbert. Obteve-se resultados similares ao de médio prazo até o pico de produção em 2030, com impactos positivos sobre o PIB e bem-estar do consumidor representativo. Além disso, também se observou sintomas de doença holandesa no período através da apreciação cambial real e impacto negativo na produção dos setores de Alimentos e Agricultura (e do setor de Outras Indústrias até 2020) com um deslocamento do fator trabalho dos setores da economia para o setor de Petróleo e Serviços como no cenário de médio prazo. E da mesma maneira como no cenário de médio prazo se observou em 2030 um aumento das emissões totais brasileiras e mundiais através da comparação do cenários simulado com o de referência do modelo, que demonstra um descompasso entre as recentes políticas climáticas brasileiras e o incentivo ao pré-sal. No longo prazo, os impactos foram negativos sobre o PIB e o bem-estar do consumidor e na produção de todos os setores no fim do horizonte de simulação. Os resultados obtidos dependem da hipótese assumida quanto à curva de produção de petróleo brasileiro e sua diferença em relação ao cenário base do modelo.

A simulação do pré-sal nesse cenário, apesar de não explicitar os custos de o aumento de produção a partir do pré-sal e nem diferenciar a tecnologia quanto aos maiores custos de extração do pré-sal, indicam que os benefícios futuros de longo prazo são inferiores aos custos em termos agregados, medidos a partir do valor presente líquido do produto nacional agregado. Esse resultado é dependente da hipótese assumida de queda de produção no longo prazo a níveis significativamente inferiores aos que seriam observados sem o pré-sal.

No cenário alternativo de longo prazo modificou-se o modelo para que a tecnologia de produção de pré-sal fosse endógena, considerando seu custo mais alto de exploração em relação ao petróleo convencional. Nesse cenário as hipóteses não são sobre a quantidade de produção de petróleo em si mas sim relacionados ao mark-up de custo dessa tecnologia em relação à de produção de petróleo convencional, da composição de capital e trabalho no custo

e sobre as elasticidades de substituição entre capital, trabalho e o recurso fóssil na função de produção. Quando se permite a produção de maneira endógena sem subsídios, a produção só se torna competitiva a partir de 2050, ou seja, bem depois do período desejado pelo governo. Simulou-se então o cenário com uma curva de subsídios decrescentes à produção de pré-sal, que implicaram no médio e longo prazo em uma alocação ineficiente de recursos escassos (principalmente capital), causando uma diminuição do PIB se comparado ao cenário base e impacto negativo sobre o bem-estar do consumidor representativo, além de ligeiro aumento nas emissões de gases de efeito estufa. Percebe-se então que ainda há espaço na literatura para hipóteses e estudos alternativos que visem a analisar o impacto do choque do pré-sal, principalmente no longo prazo.

Esse último cenário, por permitir que a produção de pré-sal seja endógena a partir dos seus custos relativos em relação ao petróleo convencional, seria a hipótese mais adequada para a simulação do pré-sal no contexto deste trabalho, contudo existem incertezas nos parâmetros necessários para alimentar o modelo com essa formulação. Considerando as hipóteses adotadas no presente estudo, inspiradas no maior custo de exploração das reservas do pré-sal, a extração e uso deste recurso no período almejado pelo governo brasileiro mostra-se indesejável do ponto de vista do crescimento econômico e do bem-estar, uma vez que serão necessários recursos que poderiam ser empregados com maior eficiência em outros setores da economia brasileira. Realizou-se uma análise de sensibilidade sobre os principais parâmetros assumidos e constatou-se que os resultados são robustos para o PIB e bem-estar do consumidor representativo.

Conclui-se a partir desses resultados que o desenvolvimento do pré-sal traz mais custos que benefícios à economia brasileira no longo prazo, considerando o atual estágio de conhecimento tecnológico. Dessa forma, são desejáveis políticas de investimento e desenvolvimento tecnológico capazes de reduzir os custos de exploração e aumentar a eficiência da extração e uso do recurso fóssil, bem como medidas capazes de reverter ou reduzir os sintomas de doença holandesa. É importante também harmonizar as políticas energéticas e climáticas brasileiras, já que o desenvolvimento do pré-sal é antagônico à política brasileira de redução de emissões de gases de efeito estufa.

# REFERÊNCIAS


AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). **World energy outlook 2008:** Global Energy Trends. Paris, 2008.

ARAGÃO, A.P. **Estimativa da contribuição do setor petróleo ao produto interno bruto brasileiro.** 2005. 165f. Dissertação – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

AUTY, R. **Introduction and overview in resource abundance and economic development**, Oxford: Oxford University Press: 3–16, 2001.

BANDARA J.S., An Investigation of "Dutch Disease" Economics with a Miniature CGE Model. **Journal of Policy Modeling**. Vol. 13, pp67-92, 1991.

BARRY,M.P. Dutch Disease in Uzbekistan? A Computable General Equilibrium Model of Effects of Foreign Investment into Uzbekistan's Gas Sector. **Caucasian Review of International Affairs**, vol.3, p 189-209, 2009.

BBC BRASIL. **Entenda o processo de capitalização da Petrobras**. Brasília, 2010. Disponível em:<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2010/09/100901_entenda_presal_fp_rc.shtml> Acesso em: 18 maio 2012.

BEIRAL, P. R. S. ; SANTOS, J. A . **Pré-sal: produção de gasolina e suas relações com o etanol** – uma análise de equilíbrio geral. In: Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural, 2010, Campo Grande. 48º Congresso SOBER - Campo Grande-MS, 2010.

BRASIL. Lei n.12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 29 dez., 2009a. Seção 1, p.109. Edição Extra.

BRASIL. Câmara dos deputados, Conselho de altos estudos e avaliação tecnológica. **Os desafios do pré-sal.** Brasília, 2009b

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Pré-sal** – perguntas e respostas. 2009c. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2009/10_outubro/Cartilha_prx-sal.pdf>. Acesso em: 18 maio 2012.


.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS**: a user's guide. Washington: GAMS Development Corporation, 1998. 262p.

BRESSER-PEREIRA, L.C. Doença holandesa e sua neutralização: Uma abordagem ricardiana. **Revista de economia política**. São Paulo, vol. 28, n.1: 47-71, Jan-Mar 2008.

CANELAS, A. L. S. **Evolução da importância econômica da indústria de petróleo e gás natural no Brasil**: Contribuição a Variáveis Macroeconômicas.2007.Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, 2007.

CHAN, G.; REILLY J. M.; PALTSEV S.; CHEN Y. H. H. The Canadian oil sands industry under carbon constraints, **Energy Policy**, Volume 50.pp 540-550. 2012

CHOUMERT, F., PALTSEV, S., REILLY, J., **Improving the refining sector in EPPA**. Cambridge: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change,2006 (Technical Note 9)

CORDEN, W.M. Booming Sector and Dutch Disease Economics: Survey and Consolidation. **Oxford Economic Papers**, v.36, n.3, pp. 359-380. 1984.

CORDEN, W.M.; NEARY, J.P. Booming Sector and De-Industrialization in a Small Open Economy. **The Economic Journal**, v.92, n.368, pp.825-848, 1982.

DIMARANAN, B.; MCDOUGALL, R. **Global trade, assistance, and production**: the GTAP 5 Data Base. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2002.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2020**. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302_1.pdf>. Acesso em: 18 maio 2012.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS (FIPE). FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). **Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira**: relatório resumo. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011.

GIAMBIAGI, F.; VILELA, **A. economia brasileira contemporânea (1945-2004).** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GIESECKE J. A., HORRIDGE J.M., SCARAMUCCI J.A. **The downside of domestic substitution of oil and biofuels:** will Brazil Catch the Dutch Disease? General Paper n G-169 – COPS. Dez. 2007

GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT (GTAP). **GTAP data bases**: Detailed Sectorial List. 2013. Disponível em: < https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/contribute/detailed sector.asp>. Acesso em: 16 de fevereiro 2013.

GURGEL, A. C. **Modelagem dinâmica de equilíbrio geral para o estudo de políticas climáticas**. 2011. 168 p. Tese (Livre Docência). – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

GYLFASON, T.; **Natural resources and economic growth**: form dependence to diversification. Centre for Economic Policy Research,2004. (Discussion Paper 4804).

HADDAD,E.A. **Cenário 2030**: O pré-sal e a estrutura da economia brasileira. TD Nereus, 2012. (Nota Técnica).

HADDAD, E.A.; GIUBERTI, A.C. **Economic impacts of pre-salt on a regional economy:** The Case of Espirito Santo, Brazil. Jönköping, Sweden. 50th Anniversary European Congress of the Regional Science Association International, 2011.

HERTEL, T. **Global trade analysis:** modeling and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

HOGAN, L.; NAUGHTEN, B. Some general equilibrium effects of declining crude oil production in Australia. **Energy Economics.** Volume 12, 242-250. 1990

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).**Summary for policymakers**. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewable energy policy in IEA countries**. Paris: OECD/IEA, Country reports, v. 2, 1997.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**: 2004. Paris: OECD/IEA, 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy balances of non-OECD countries**: 2005 edition. Paris: OECD/IEA, 2005.

JACOBY, H. D.; REILLY, J. M.; MCFARLAND, J. R.; PALTSEV, S. **Technology and technical change in the MIT EPPA Model**. Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2004 (Joint Program Report Series. Cambridge, report 111).

JANDREY, D. B.; SILVA, P.R.F.; FEDERIZZI, L. C. ; VIEIRA, V.M. ; SANGOI, L. . Agroenergia e Agricultura. **Revista de Ciências Agroveterinárias (UDESC),** v. 9, p. 82-89, 2010.

LACERDA, S. M. Modelagem econômica e soluções computacionais aplicadas à montagem de cenários para a produção de petróleo. **Revista do BNDES** nº 32. 2009.

LAHIRI, S.; BABIKER, M.; ECKAUS, R. S. **The effects of changing consumption patterns on the costs of emission restrictions**. Cambridge: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2000. (Report n. 64).

LEITE, C. and WEIDMANN, J. **Does mother nature corrupt?** Natural Resources, Corruption, and, Economic Growth, IMF Working Paper WP/99/85, Washington, DC: International Monetary Fund, 1999.

LIMA, E. M. C. **Impactos de políticas climáticas internacionais sobre a economia brasileira**. 2011. 151f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

LIMA, K. ; Consultoria da ANP avalia preço do barril do pré-sal entre US$ 10 e US$ 12. 2010. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 19 ago. 2010 Disponível em:< http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,consultoria-da-anp-avalia-preco-do-barril-do-pre-sal-entre-us-10-e-us-12,597056,0.htm> Acesso em: 22 abril 2013

LIMA, P. C. R. **O pré-sal e o aquecimento global**. Brasília, Câmara dos deputados. 2009.

MAGALHÃES, A. S. ; DOMINGUES, E. P. **Benção ou maldição:** impactos do pré-sal na indústria brasileira. Rio de Janeiro: Premio CNI de Economia, 2012.

MEHLUM, H.; MOENE K.; TORVIK R. Institutions and the Resource Curse. **The Economic Journal**,116, Royal Economic Society, 2006.

NEUMAYER, E. Does the "Resource Curse" Hold for Growth in Genuine Income as Well?, **World Development** 32.10: 1627–1640, 2004.

NÚCLEO DE ESTUDOS DE ECONOMIAS DE BAIXO CARBONO (EBC). **Economia de baixo carbono:** avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. II Relatório: Modelo de equilíbrio geral. Ribeirão Preto, 2012. Disponível em: < http://www.ebc.fearp.usp.br/arq_docs/295786af8170215ad003fcb5645e7eea.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2012.

OLIVEIRA C.W.A.,COELHO D.S.C., BAHIA L.D.,FERREIRA FILHO J.B.S. **Impactos macroeconômicos de investimentos na cadeia de petróleo brasileira.**– Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011.(Texto para discussão 1657).

OLIVIER, J. G. J.; BERDOWSKI, J. J. M. Global emissions sources and sinks. In: Berdowski, J.; Guicherit, R.; Heij, B. J. (Ed.). **The climate system**. Lisse: Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, 2001. p 33-78.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; ECKAUS, R.S.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M.; ASADOORIAN, M.; BABIKER, M. **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model**: version 4. Cambridge: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. 2005.

PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. (PETROBRAS). Os novos desafios do pré-sal. Seminário. 2011. Disponível em: < http://pt.braudel.org.br/eventos/arquivos/downloads/apresentacao_presidente_gabrielli.pdf>. Acesso em: 12 abril 2013.

PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. (PETROBRAS). Plano de negócios 2012-2016. Fato relevante – relacionamento com investidores. Rio de Janeiro, 2012.

PIERMARTINI R.; THE R.**Demystifying Modeling Methods for Trade Policy**. 2005 (WTO Discussion Papers, No.10).

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado da Fazenda (SEFAZ-RJ). Subsecretaria de estudos econômicos. **Pré-sal:** de quanto estamos falando? Uma análise macroeconômica da produção potencial dos campos do Pré-sal brasileiro. Rio de Janeiro, 2010.

ROSSER,A. **The Political Economy of the Resource Curse** – A Literature Survey. Institute of Development Studies at the University of Sussex Brighton. 2006. (IDS Working Paper 268).

RUTHERFORD, T. F. Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax. **Computational Economics**, New York, v. 14, p. 1-46, 1999

SACHS, J.D.; WARNER, M. **Natural Resource Abundance and Economic Growth**,National. Bureau of Economic Research Cambridge, MA:National Bureau of Economic Research, 1995(Working Paper 6398).

SACHS, J.D.; WARNER, M. Fundamental Sources of Long Run Growth. **American Economic Review**. pp. 184-188. 1997.

SADOULET, E; DE JANVRY, A. **Quantitative development policy analysis**. Baltimore: The Johns Hopkins University, 397 p, 1995.

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. **Applying general equilibrium**. 3rd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

SZKLO, A. ; MACHADO, G. ; SCHAEFFER, R. Future oil production in Brazil – Estimates based on a Hubbert model. Energy Policy, volume 35, 2360-2367. 2007.

THURLOW, J. **A dynamic computable General Equilibrium (CGE) Model for South Africa**: Extending the Static IFPRI Model. Trade and Industrial Policy Strategies.2004 (Working Paper 1-2004).

UNITED NATIONS(UN) **Long-run world population projections:** based on the 1998 Revision. New York: United Nations, 2000.

UNITED NATIONS (UN). **World population prospects**: the 2000 revision. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2001.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C**. Energia, meio ambiente e economia**: O Brasil no contexto mundial. **Quim. Nova**, Volume 32, Nº 3, 757-767, 2009

WING, S. I. **Computable general equilibrium models and their use in economy-** WidePolicy Analysis. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical Note 6, Cambridge, Massachusetts, 2004.

## LISTA DE ITENS – APÊNDICES

APÊNDICE A - Gráfico 1: Produção de petróleo no cenário 2 simulado e na projeção utilizada (eJ) ..... 93

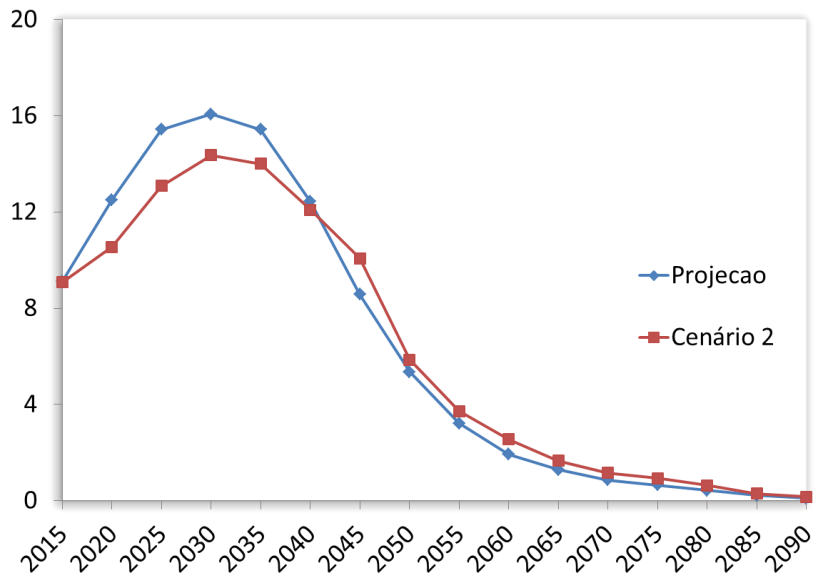
APÊNDICE B - Gráfico 1: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Alimentos e Agricultura (%) ..... 94
APÊNDICE B - Gráfico 2: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Alimentos e Agricultura (%) ..... 94
APÊNDICE B - Gráfico 3: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%) ..... 95
APÊNDICE B - Gráfico 4: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%) ..... 95
APÊNDICE B - Gráfico 5: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Outras Indústrias e Serviços (%) ..... 96
APÊNDICE B - Gráfico 6: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Outras Indústrias e Serviços (%) ..... 96
APÊNDICE B - Gráfico 7: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setor de Petróleo refinado (%) ..... 97
APÊNDICE B - Gráfico 8: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setor de Petróleo refinado (%) ..... 97

APÊNDICE C - Gráfico 1: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Alimentos e Agricultura (%) ..... 98
APÊNDICE C - Gráfico 2: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Alimentos e Agricultura (%) ..... 98
APÊNDICE C - Gráfico 3: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%). ..... 99
APÊNDICE C - Gráfico 4: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%) ..... 99
APÊNDICE C - Gráfico 5: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Outras indústrias e Serviços (%) ..... 100
APÊNDICE C - Gráfico 6: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Outras indústrias e Serviços (%) ..... 100
APÊNDICE C - Gráfico 7: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setor de Petróleo refinado (%) ..... 101
APÊNDICE C - Gráfico 8: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setor de Petróleo refinado (%) ..... 101

APÊNDICE D - Tabela 1: Mudanças no PIB nos testes de sensibilidade(%) ..... 103
APÊNDICE D - Tabela 2: Mudanças no bem-estar nos testes de sensibilidade (%) ..... 104
APÊNDICE D - Tabela 3: Mudanças na produção setorial nos testes de sensibilidade - 2030 (%) ..... 104

**APÊNDICE A - Calibração entre o cenário 2 simulado e a projeção**

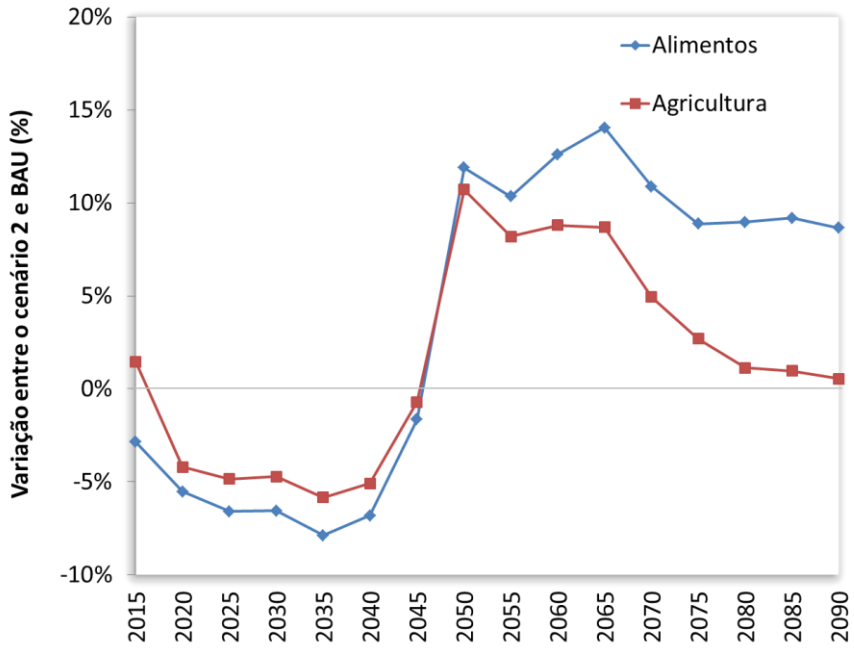
A aproximação entre o cenário 2 simulado e a projeção pode ser observada no gráfico A1 a seguir:




APÊNDICE A - Gráfico 1: Produção de petróleo no cenário 2 simulado e na projeção utilizada (eJ)

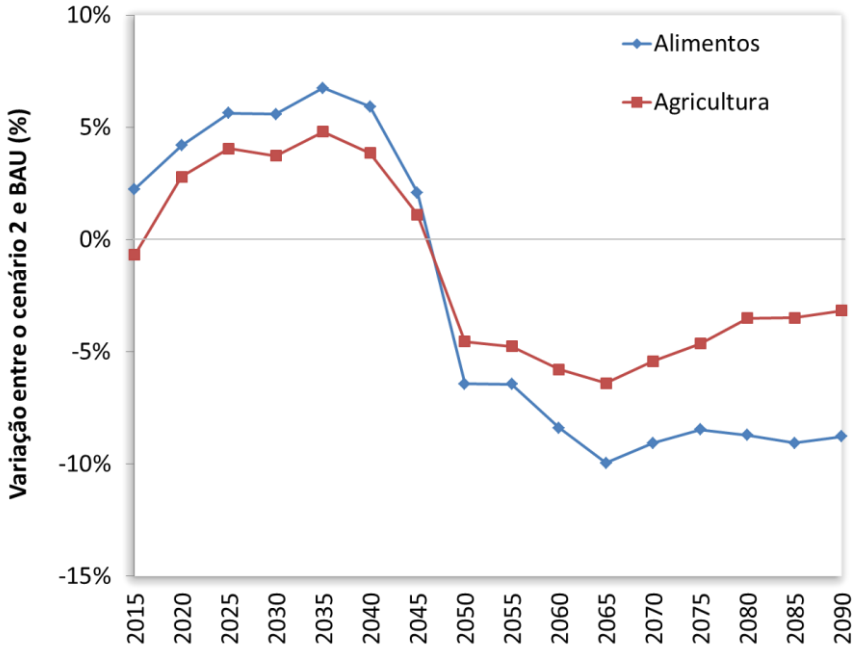
Fonte: elaboração própria

**APÊNDICE B – Variação das Exportações e Importações Setoriais entre o cenário 2 e BAU**



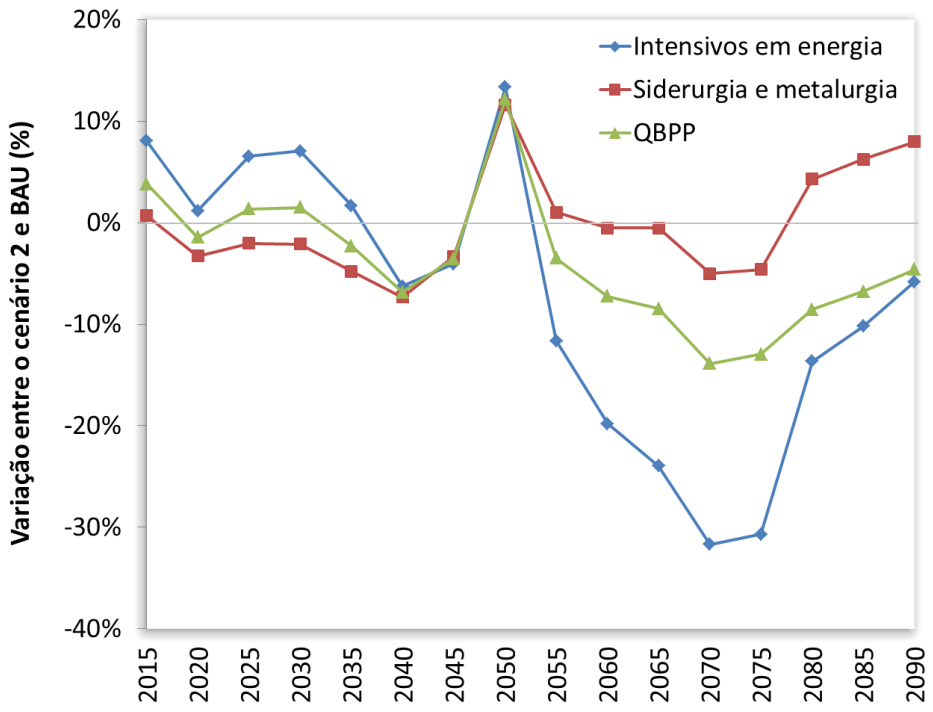

APÊNDICE B - Gráfico 1: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria



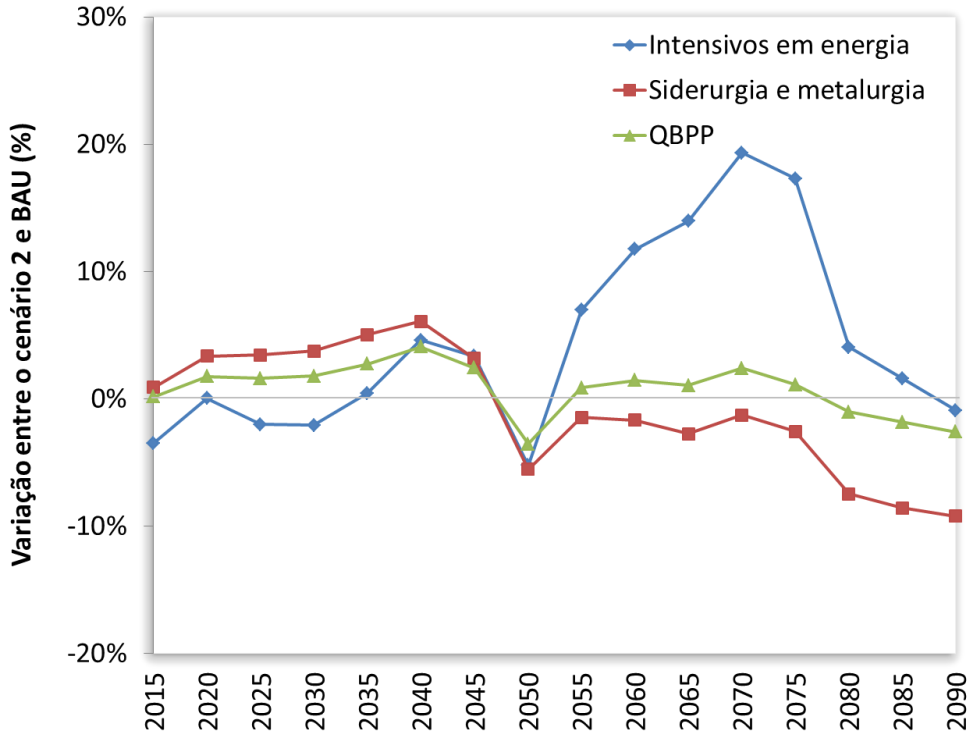

APÊNDICE B - Gráfico 2: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria



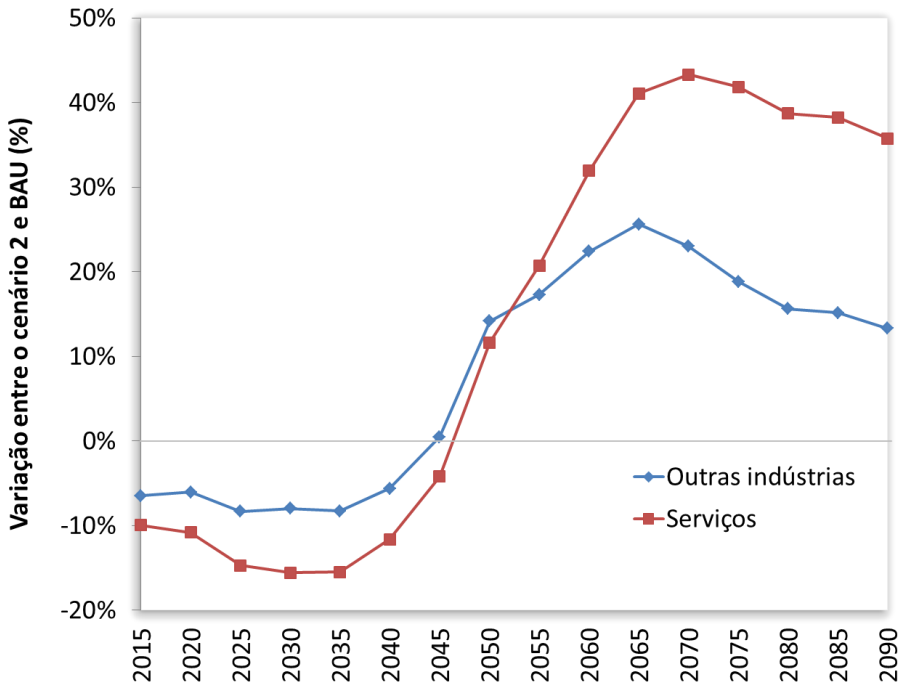

APÊNDICE B - Gráfico 3: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)

Fonte: elaboração própria



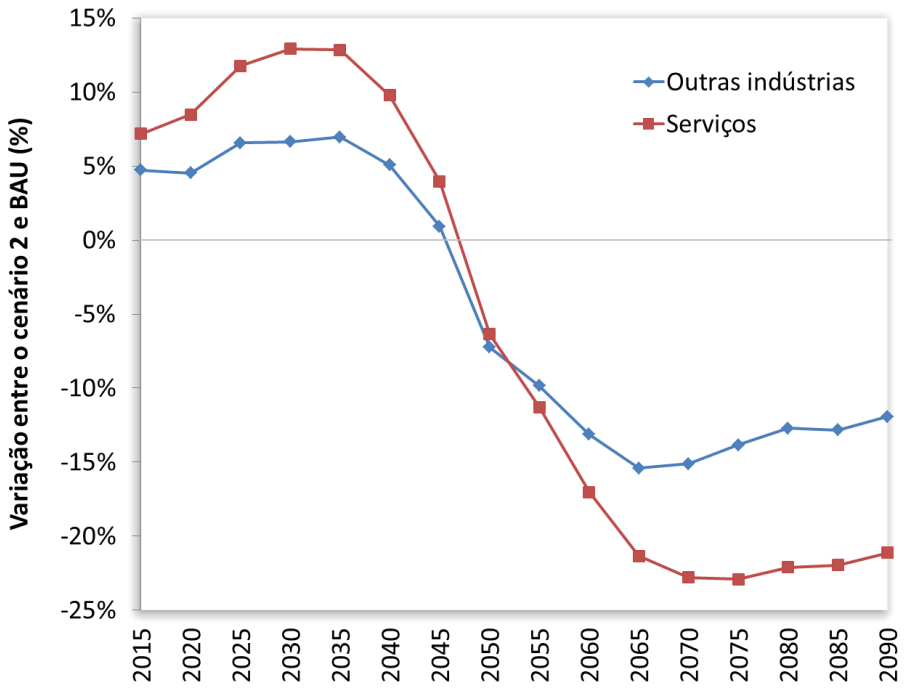

APÊNDICE B - Gráfico 4: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)

Fonte: elaboração própria



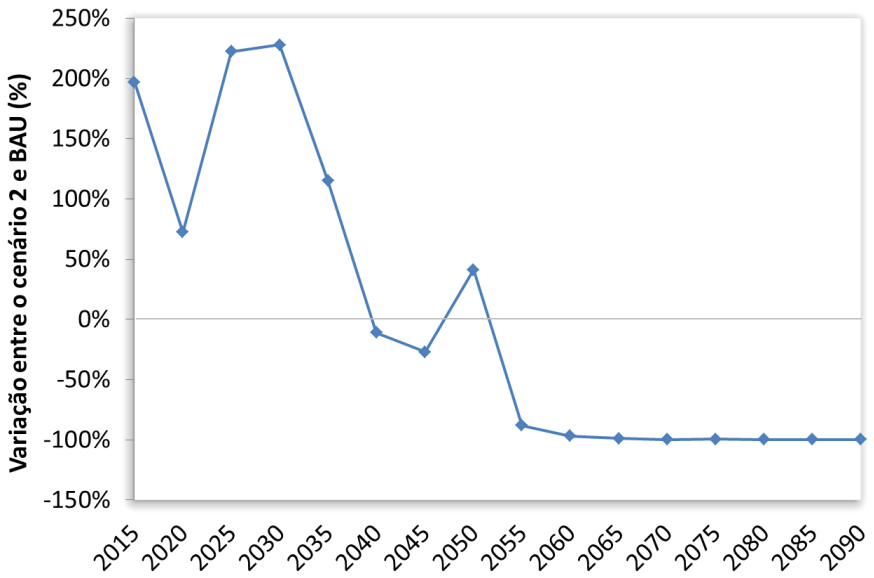

APÊNDICE B - Gráfico 5: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setores de Outras Indústrias e Serviços (%)

Fonte: elaboração própria



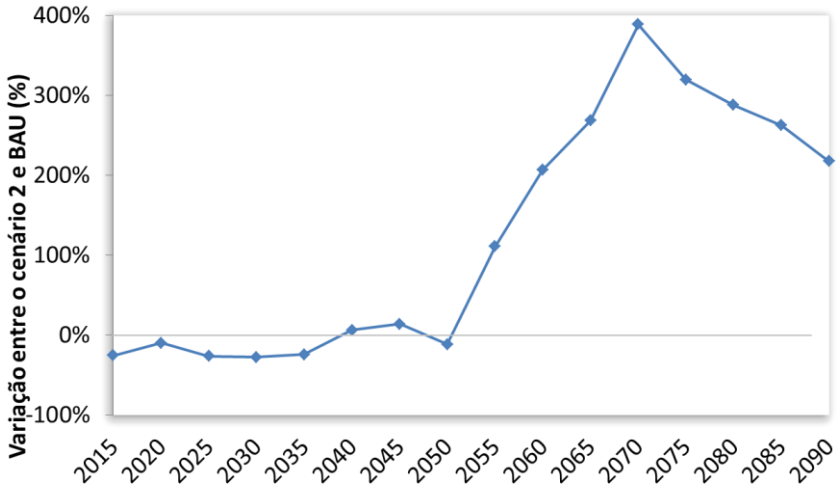

APÊNDICE B - Gráfico 6: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setores de Outras Indústrias e Serviços (%)

Fonte: elaboração própria




APÊNDICE B - Gráfico 7: Variação entre o cenário 2 e BAU das exportações dos setor de Petróleo refinado (%)

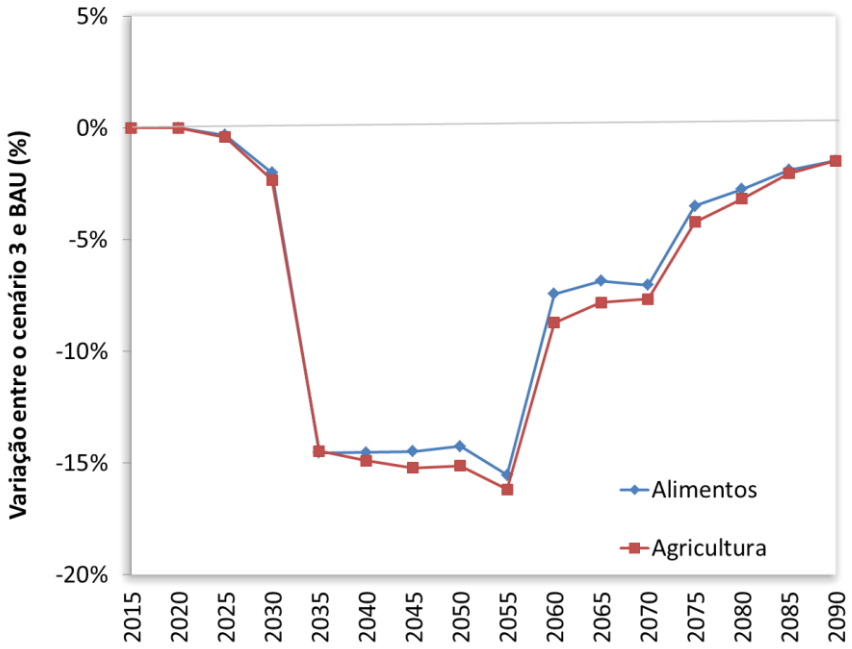
Fonte: elaboração própria




APÊNDICE B - Gráfico 8: Variação entre o cenário 2 e BAU das importações dos setor de Petróleo refinado (%)

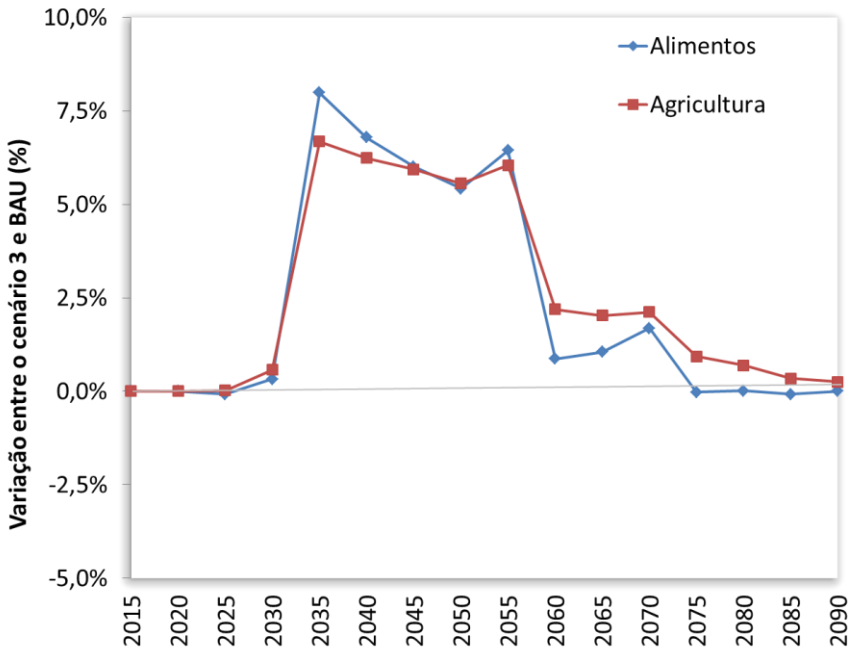
Fonte: elaboração própria

**APÊNDICE C – Variação das Exportações e Importações Setoriais entre o cenário 3 e BAU**



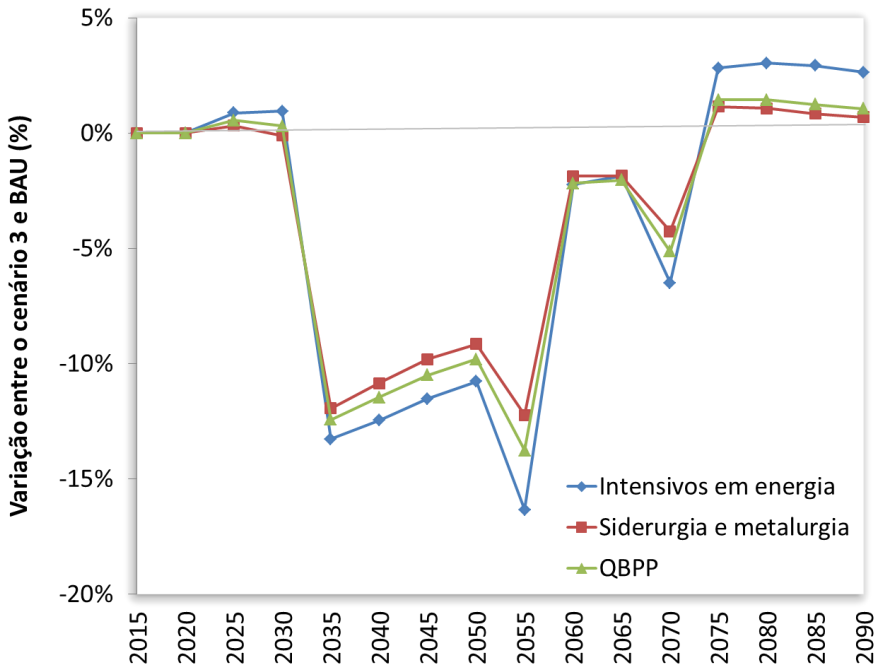

APÊNDICE C - Gráfico 1: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria



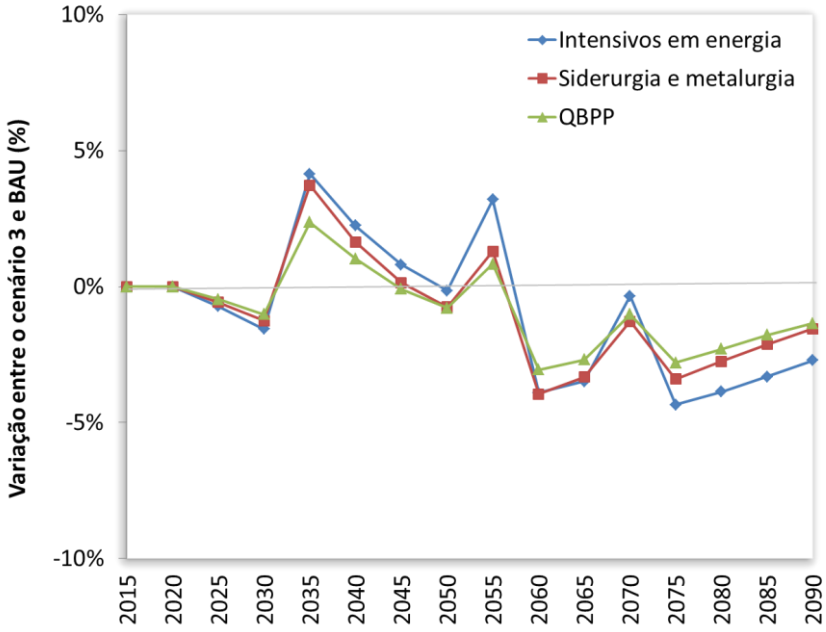

APÊNDICE C - Gráfico 2: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Alimentos e Agricultura (%)

Fonte: elaboração própria



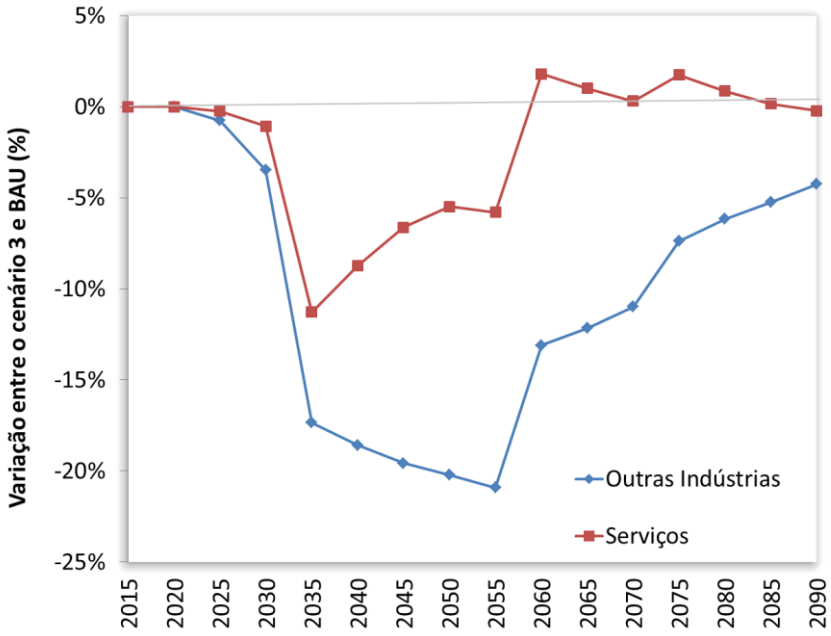

APÊNDICE C - Gráfico 3: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%).

Fonte: elaboração própria



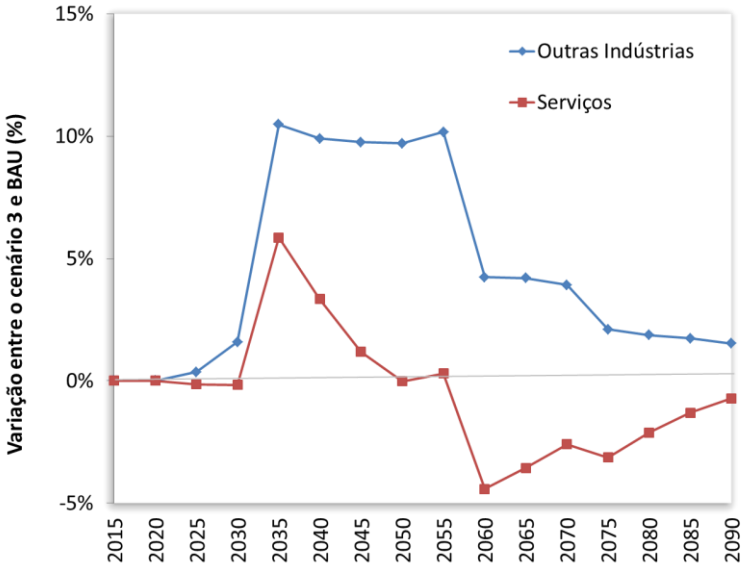

APÊNDICE C - Gráfico 4: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Intensivos em energia, Siderurgia e metalurgia e QBPP (%)

Fonte: elaboração própria



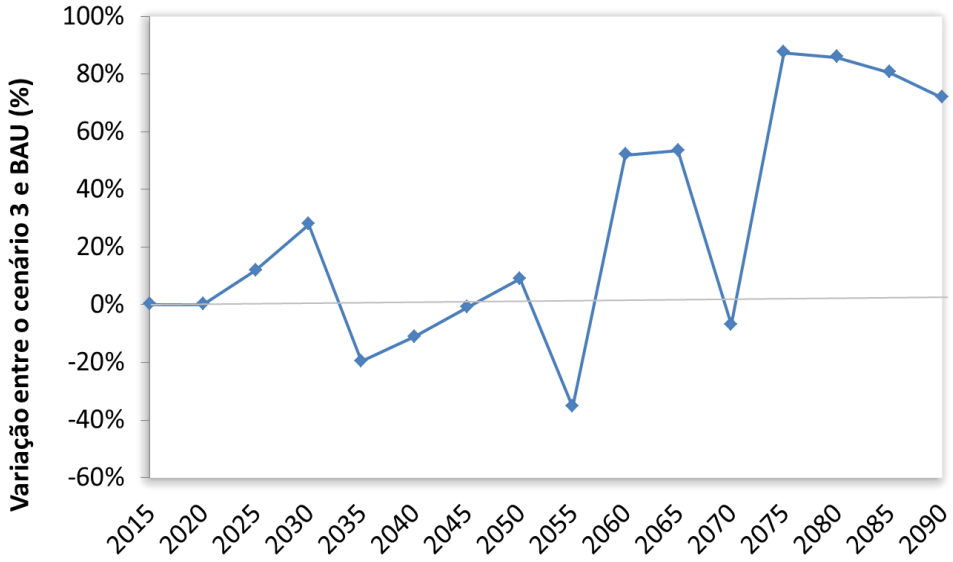

APÊNDICE C - Gráfico 5: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setores de Outras indústrias e Serviços (%)

Fonte: elaboração própria



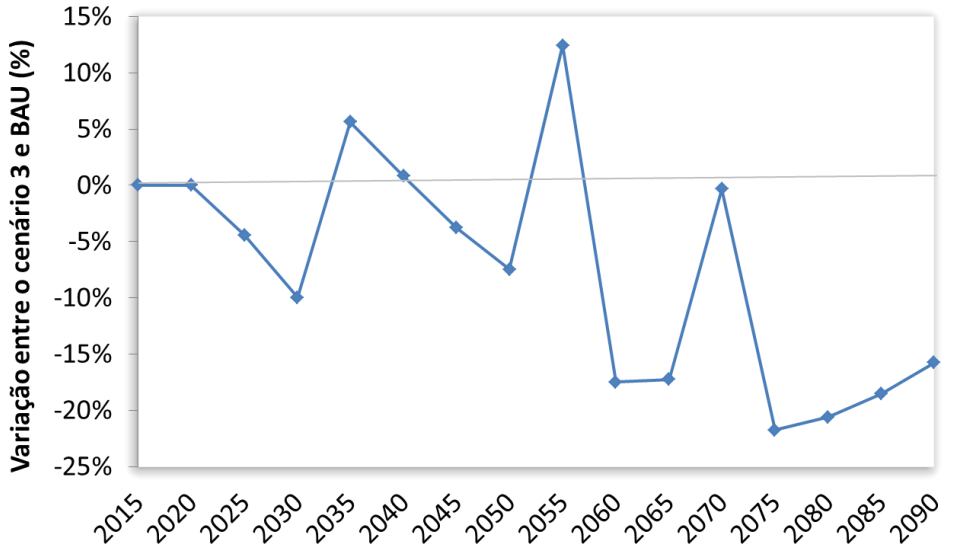

APÊNDICE C - Gráfico 6: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setores de Outras indústrias e Serviços (%)

Fonte: elaboração própria




APÊNDICE C - Gráfico 7: Variação entre o cenário 3 e BAU das exportações dos setor de Petróleo refinado (%)

Fonte: elaboração própria




APÊNDICE C - Gráfico 8: Variação entre o cenário 3 e BAU das importações dos setor de Petróleo refinado (%)

Fonte: elaboração própria

## APÊNDICE D – Análise de sensibilidade

A representação da tecnologia de produção do pré-sal como uma tecnologia backstop na modelagem de equilíbrio geral computável utilizada nesse estudo fez uso de pressuposições e parâmetros econômicos muitas vezes não disponíveis na literatura e, portanto, passíveis de questionamento. De forma a verificar se os resultados aqui obtidos são robustos e como algumas hipóteses adotadas afetariam os resultados obtidos, procurou-se nessa seção a realização de testes simples de sensibilidade. Escolheu-se aqui apresentar alguns resultados mais relevantes destes testes, considerando-se o terceiro cenário simulado e os resultados sobre PIB e bem-estar do consumidor representativo (impactos macroeconômicos), resultados de produção setorial que permitem a análise dos resultados encontrados de doença holandesa, resultados sobre a produção do setor de petróleo bruto (incluindo a produção de pré-sal) e as emissões de gases de efeito estufa brasileira total (em $CO_2$ equivalente). Analisaram-se os resultados nos anos de 2030, 2050 e 2090 para representar a trajetória.

As três principais hipóteses escolhidas para serem testadas foram: a elasticidade $\sigma_{RVA}$ que representa a elasticidade de substituição entre o recurso de pré-sal e a cesta de valor adicionado e intermediários (capital, trabalho e outros) na função de produção de pré-sal, como pode ser observado na Figura 8 da seção 4.3 (no cenário 3 simulado o valor considerado foi o mesmo da produção de areia betuminosa de 0,5); a porcentagem de capital e trabalho nos custos de produção do pré-sal (no cenário 3 simulado a porcentagem de capital e trabalho nos custos de produção do pré-sal considerado foi o mesmo da produção de areia betuminosa de 40% para capital e 30% para trabalho); e as elasticidades de substituição dos setores produtivos do EPPA, em específico as elasticidades Armington entre bens domésticos e importados ($\sigma_{\mathrm{DM}}$) e entre importações de diferentes regiões ($\sigma_{\mathrm{MM}}$). Os valores utilizados em todas as simulações podem ser observadas na Tabela 2 da seção 3.2.3

Realizaram-se então seis testes: teste 1 considerando uma diminuição em $\sigma_{RVA}$($\sigma_{RVA}$= 0,25); teste 2 considerando a mesma proporção de aumento em $\sigma_{RVA}$($\sigma_{RVA}$= 1,0); teste 3 considerando a tecnologia de produção do pré-sal mais intensiva em capital (proporção de capital nos custos de 50% e de trabalho em 20%); teste 4 considerando a tecnologia de produção do pré-sal como sendo menos intensiva em capital ( proporção de capital nos custos de 30% e de trabalho em 40%); teste 5 considerando uma menor elasticidade Armington para

todos os setores no Brasil (foi considerado a metade de todos os valores originais de $\sigma_{DM}$ e $\sigma_{MM}$); e teste 6 considerando um maior elasticidade Armington para todos os setores no Brasil (foi considerado o dobro de todos os valores originais de $\sigma_{DM}$ e $\sigma_{MM}$ ). Nas tabelas a seguir podem ser observados os resultados da análise de sensibilidade do modelo através da variação do resultado obtido no teste simulado e no cenário 3 original

As mudanças nos resultados não são expressivas (de até 1,6% para PIB, 1,37% para bem-estar do consumidor representativo e3,74% para as emissões brasileiras totais no longo prazo), como pode ser observado nas tabelas D1, D2 e D7 abaixo., não alterando os resultados e suas conclusões, e demonstram a robustez do modelo. Para os resultados de sensibilidade sobre a produção setorial observa-se novamente que o modelo é robusto a partir da análise dos resultados das tabelas D3. D4 e D5 e que o resultado de doença holandesa é robusto (cabe ressaltar que dentre as hipóteses analisadas a que se mostrou mais sensível nesse sentido foi a das elasticidades de substituição dos setores produtivos do EPPA, em específico as elasticidades Armington entre bens domésticos e importados e entre importações de diferentes regiões assumidas). A análise de sensibilidade sobre a produção do setor de petróleo bruto (incluindo a produção de pré-sal) que pode ser observada na tabela D indica que os resultados para este setor são mais sensíveis às hipóteses assumidas testadas, Esse resultado sugere uma necessidade de maiores estudos sobre a intensidade de uso dos fatores no setor a partir da exploração do pré-sal para uma representação mais adequada desta tecnologia nos modelos de equilíbrio geral. Contudo, como os resultados da análise de sensibilidade indicam, essa incerteza sobre a formulação da tecnologia pouco afeta os resultados macroeconômicos do presente estudo.

APÊNDICE D - Tabela 1: Mudanças no PIB nos testes de sensibilidade(%)

| **Teste** | **PIB** | | |
|---|---|---|---|
| | **2030** | **2050** | **2090** |
| Teste 1 | 0,14% | 1,10% | 0,51% |
| Teste 2 | -0,02% | -0,10% | -0,62% |
| Teste 3 | 0,06% | 0,37% | -0,17% |
| Teste 4 | -0,22% | 0,00% | 0,09% |
| Teste 5 | -0,20% | 0,23% | -0,65% |
| Teste 6 | 0,18% | 0,62% | 1,60% |

Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 2: Mudanças no bem-estar nos testes de sensibilidade (%)

| Teste | Bem-estar | | |
|---|---|---|---|
| | 2030 | 2050 | 2090 |
| Teste 1 | 0,19% | 0,45% | 0,46% |
| Teste 2 | -0,01% | -0,66% | -1,32% |
| Teste 3 | 0,68% | 0,17% | -0,27% |
| Teste 4 | -0,49% | 0,52% | 0,20% |
| Teste 5 | -0,05% | -0,06% | -0,61% |
| Teste 6 | 0,10% | 0,72% | 1,37% |

Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 3: Mudanças na produção setorial nos testes de sensibilidade - 2030 (%)

| | Alim. | Agric. | Int. em energia | Outras indústrias | Transp. | QBPP | Serviços | Siderurgia e Metalurgia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teste 1 | 0,19% | 0,21% | 0,26% | 0,29% | 0,13% | 0,18% | 0,08% | 0,21% |
| Teste 2 | 0,50% | 0,74% | 1,03% | 0,21% | 0,98% | 1,19% | 0,09% | 0,77% |
| Teste 3 | -1,37% | -2,46% | -4,18% | -0,82% | -4,10% | -4,58% | 0,15% | -2,55% |
| Teste 4 | -0,41% | -0,33% | 0,36% | -0,30% | 1,01% | 0,30% | -0,51% | -0,25% |
| Teste 5 | -2,58% | -1,84% | -2,23% | 2,18% | -4,54% | -4,05% | -0,85% | -2,08% |
| Teste 6 | 2,86% | -1,39% | 0,09% | -5,25% | 3,33% | 4,71% | 0,49% | 1,00% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia; Transp. = Transportes
Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 4: Mudanças na produção setorial nos testes de sensibilidade - 2050 (%)

| | Alim. | Agric. | Int. em energia | Outras indústrias | Transp. | QBPP | Serviços | Siderurgia e Metalurgia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teste 1 | 2,81% | 4,35% | 5,78% | 2,15% | 5,43% | 6,01% | 0,82% | 4,01% |
| Teste 2 | -0,54% | -0,42% | 0,35% | -0,60% | 1,46% | 0,45% | -0,48% | -0,26% |
| Teste 3 | 1,54% | 2,39% | 2,66% | 1,08% | 1,94% | 2,96% | 0,52% | 2,10% |
| Teste 4 | -0,86% | -1,59% | -1,99% | -0,16% | -1,98% | -2,55% | -0,08% | -1,41% |
| Teste 5 | -2,32% | -1,57% | 1,81% | 4,25% | -1,66% | -0,99% | -0,63% | 0,36% |
| Teste 6 | 7,24% | 5,50% | 1,18% | -5,59% | 4,87% | 9,13% | 1,07% | 3,22% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia; Transp. = Transportes
Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 5: Mudanças na produção setorial nos testes de sensibilidade - 2090 (%)

| | Alim. | Agric. | Int. em energia | Outras indústrias | Transp. | QBPP | Serviços | Siderurgia e Metalurgia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teste 1 | 0,30% | 0,32% | 0,75% | 0,47% | 0,93% | 0,55% | 0,37% | 0,48% |
| Teste 2 | -2,28% | -2,47% | -0,05% | -2,68% | 5,03% | -0,22% | -1,62% | -1,57% |
| Teste 3 | -0,39% | -0,43% | -0,16% | -0,50% | 0,55% | -0,13% | -0,29% | -0,33% |
| Teste 4 | 0,36% | 0,40% | 0,05% | 0,45% | -0,71% | 0,06% | 0,25% | 0,26% |
| Teste 5 | -2,63% | -3,05% | 0,00% | 1,28% | -2,38% | -2,90% | -0,84% | -0,77% |
| Teste 6 | 7,12% | 8,28% | 1,87% | -1,40% | 4,13% | 9,10% | 0,28% | 3,15% |

Legenda: Alim. = Alimentos; Agric. = Agricultura; Int. em energia = Intensivos em energia; Transp. = Transportes
Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 6: Mudanças na produção do setor de Petróleo Bruto (inclui a produção de pré-sal) nos testes de sensibilidade (%)

| **Teste** | **Produção do setor de petróleo bruto** | | |
|---|---|---|---|
| | **2030** | **2050** | **2090** |
| Teste 1 | 0,0% | 0,0% | 0,0% |
| Teste 2 | -6,4% | 21,3% | 33,6% |
| Teste 3 | 18,2% | 3,9% | 0,0% |
| Teste 4 | 1,6% | 26,1% | -9,4% |
| Teste 5 | 4,2% | 8,4% | 4,5% |
| Teste 6 | 17,4% | 19,5% | -15,5% |

Fonte: elaboração própria

APÊNDICE D - Tabela 7: Mudanças na emissão nacional total de gases de efeito estufa nos testes de sensibilidade (%)

| **Teste** | **Emissão nacional total de gases de efeito estufa** | | |
|---|---|---|---|
| | **2030** | **2050** | **2090** |
| Teste 1 | 0,02% | 3,54% | 0,76% |
| Teste 2 | 0,91% | 0,37% | 1,45% |
| Teste 3 | -4,67% | 0,34% | 0,08% |
| Teste 4 | -0,10% | -0,97% | -0,21% |
| Teste 5 | -3,60% | -1,33% | -1,53% |
| Teste 6 | 1,21% | 2,78% | 3,74% |

Fonte: elaboração própria

## LISTA DE ITENS – ANEXOS

ANEXO A - Tabela 1: Mapeamento de regiões do GTAP para o EPPA ..... 107

ANEXO B - Tabela 1: Conjuntos e subconjuntos do modelo..... 110
ANEXO B - Tabela 2: Variáveis Endógenas (setores e níveis de preços) ..... 111
ANEXO B - Tabela 3: Parâmetros iniciais de parcelas de custos ($\theta$), dotações de fatores e coeficientes técnicos (variáveis exógenas)..... 112

## ANEXO A – Mapeamento de Setores e Regiões do GTAP para o EPPA

ANEXO A - Tabela 1: Mapeamento de regiões do GTAP para o EPPA

| Região do EPPA | País ou região no GTAP | Região do EPPA | País ou região no GTAP | Região do EPPA | País ou região no GTAP |
|---|---|---|---|---|---|
| USA | USA | LAM | Jamaica | EUR | Romania |
| CAN | Canada | LAM | Puerto Rico | EUR | Slovakia |
| MEX | Mexico | LAM | Saint Kitts and Nevis | EUR | Slovenia |
| BRA | Brazil | LAM | Saint Lucia | EUR | Estonia |
| RUS | Russia | LAM | Saint Vincent and the Grenadines | EUR | Latvia |
| CHN | China | LAM | Trinidad and Tobago | EUR | Lithuania |
| IND | India | LAM | Virgin Islands, U.S | EUR | Switzerland |
| JPN | Japan | LAM | Anguilla | EUR | Iceland |
| LAM | Colombia | LAM | Aruba | EUR | Liechtenstein |
| LAM | Peru | LAM | Cayman Islands | EUR | Norway |
| LAM | Venezuela | LAM | Cuba | ROE | Turkey |
| LAM | Bolivia | LAM | Guadeloupe | ROE | Albania |
| LAM | Equador | LAM | Martinique | ROE | Croatia |
| LAM | Argentina | LAM | Monserrat | ROE | Belarus |
| LAM | Chile | LAM | NetherlandsAntilles | ROE | Ukraine |
| LAM | Uruguay | LAM | Turks and Caicos | ROE | Armenia |
| LAM | Paraguay | LAM | Virgin Islands, British | ROE | Azerbajan |
| LAM | Nicaragua | EUR | Austria | ROE | Georgia |
| LAM | Bermuda | EUR | Belgium | ROE | Kazakhstan |
| LAM | Greenland | EUR | Denmark | ROE | Kyrgyzstan |
| LAM | Saint Pierre Miquelon | EUR | Finland | ROE | Andorra |
| LAM | FalklandIslands | EUR | France | ROE | BosniaandHerzogov. |
| LAM | French Guiana | EUR | Germany | ROE | Faroe Islands |
| LAM | Guyana | EUR | United Kingdom | ROE | Giblartar |
| LAM | Suriname | EUR | Greece | ROE | Macedonia |
| LAM | Belize | EUR | Ireland | ROE | Monaco |
| LAM | Costa Rica | EUR | Italy | ROE | San Marino |
| LAM | El Salvador | EUR | Luxembourg | ROE | Serbiaand Montenegro |
| LAM | Guatemala | EUR | Netherlands | ROE | Moldova |
| LAM | Honduras | EUR | Portugal | ROE | Tajikistan |
| LAM | Panama | EUR | Spain | ROE | Turkmenistan |
| LAM | Antigua& Barbuda | EUR | Sweden | ROE | Uzbekistan |
| LAM | Bahamas | EUR | Bulgaria | ASI | Malaysia |
| LAM | Barbados | EUR | Cyprus | ASI | Philippines |
| LAM | Dominica | EUR | CzechRepublic | ASI | Singapore |
| LAM | DominicanRepublic | EUR | Hungary | ASI | Thailand |
| LAM | Grenada | EUR | Malta | ASI | Korea |
| LAM | Haiti | EUR | Poland | ASI | Taiwan |

Fonte: EBC (2012) . Elaboração própria.

ANEXO A - Tabela 2: Mapeamento dos setores do GTAP para o EPPA

| Setor do EPPA | Setor original do GTAP | Descrição do GTAP | Setor do EPPA | Setor original do GTAP | Descrição do GTAP |
|---|---|---|---|---|---|
| CROP | PDR | Paddy rice | OTHR | LUM | Lumber |
| CROP | WHT | Wheat | CRP | PPP | Paper and paper products |
| CROP | GRO | Other Grains | ROIL | P_C | Petroleum and coke |
| CROP | V_F | Veg & fruit | CRP | CRP | Chemical rubber products |
| CROP | OSD | Oil seeds | EINT | NMM | Non-metallic minerals |
| CROP | C_B | Cane and beet | IRON | I_S | Iron and steel |
| CROP | PFB | Plant fibres | EINT | NFM | Non-ferrous metals |
| CROP | OCR | Other crops | IRON | FMP | Fabricated metal products |
| LIVE | CTL | Cattle | OTHR | MVH | Motor vehicles and parts |
| LIVE | OAP | Other animal products | OTHR | OTN | Other transport equipment |
| LIVE | RMK | Raw milk | OTHR | ELE | Electronic equipment |
| LIVE | WOL | Wool | OTHR | OME | Other machinery and equipment |
| FORS | FRS | Forestry | OTHR | OMF | Other manufacturing |
| LIVE | FSH | Fishing | ELEC | ELY | Electricity |
| COAL | COL | Coal | GAS | GDT | Faz distribution |
| OIL | OIL | Oil | OTHR | WTR | Water |
| GAS | GAS | Gas | OTHR | CNS | Construction |
| OTHR | OMN | Other mining | SERV | TRD | Trade |
| FOOD | CMT | Cattle meat | TRAN | OTP | Other transport |
| FOOD | OMT | Other meat | TRAN | WTP | Water transport |
| FOOD | VOL | Vegetable oils | TRAN | ATP | Air transport |
| FOOD | MIL | Milk | SERV | CMN | Communications |
| FOOD | PCR | Processed rice | SERV | OFI | Other financial intermediation |
| FOOD | SGR | Sugar | SERV | ISR | Insurance |
| FOOD | OFD | Other food | SERV | OBS | Other business services |
| FOOD | B_T | Beverages and tobacco products | SERV | ROS | Recreation and other services |
| OTHR | TEX | Textiles | SERV | OSG | Other services |
| OTHR | WAP | Wearing apparel | OTHR | DWE | Dwellings |
| OTHR | LEA | Leather | CGD | CGD | Savings goods |

Fonte: EBC (2012) e GTAP (2013) . Elaboração própria.

## ANEXO B – A Álgebra do Modelo EPPA[25]

O modelo EPPA foi construído a partir do subprograma *Mathematical Programming System for General Equilibrium* – MPSGE (Rutherford, 1999), que é uma linguagem de programação desenvolvida para solucionar modelos econômicos de equilíbrio ao estilo Arrow-Debreu. O MPSGE usa como interface a linguagem de programação do GAMS e objetiva construir modelos computáveis de equilíbrio geral de forma simples e com menores chances de erro de programação, aumentando a produtividade do pesquisador. Isso é possível uma vez que o MPSGE cria automaticamente a formulação matemática do modelo na forma de um problema de complementariedade mista, uma vez escolhidas as formas funcionais desejadas para as funções de produção, de transformação e de utilidade, as possibilidades de substituição entre bens e insumos, e os dados iniciais de fluxos econômicos da matriz de contabilidade social em equilíbrio. O MPSGE utiliza essas informações para construir algebricamente as funções de custo e demanda relacionadas e checa automaticamente todas as condições de equilíbrio dos mercados e de lucro zero.

A formulação do problema de complementariedade mista pelo MPSGE considera que três desigualdades devem ser satisfeitas: condição de lucro zero (ou custo unitário igual ao preço do bem), condição de equilíbrio nos mercados (oferta igual a demanda) e condição de balanço da renda (despesas iguais às receitas). Um conjunto de três variáveis não negativas deve ser determinado na solução de um problema em MCP: preços, quantidades (níveis de atividades em MPSGE) e níveis de renda. Pretende-se aqui apresentar a formulação algébrica construída pelo MPSGE para o modelo EPPA para um período qualquer. Serão apresentadas as principais equações do modelo, excluindo-se a representação das tecnologias *backstop* e omitindo-se os impostos comuns e restrições aos gases de efeito estufa, a não ser os relacionados ao carbono proveniente das emissões de combustíveis fósseis. A representação das árvores tecnológicas e o texto do Capítulo 2 contém todas as informações necessárias para a compreensão do modelo[26].

As tabelas 27, 28 e 29 a seguir apresentam os conjuntos, variáveis e parâmetros do modelo. Na notação algébrica, o símbolo $\Pi_{rk}^{u}$ denota a função de lucro na região $r$ e setor $k$

[25] Esse anexo foi retirado de Gurgel (2011).

[26] A construção das equações pelo MPSGE é entendida ao comparar as mesmas com as árvores tecnológicas das apresentadas na seção de Metodologia, e pode ser facilmente inferida para os setores *backstop*, dada a menor complexidade dos mesmos. Vale notar que o modelo EPPA possui uma versão "*open source*", disponível no endereço eletrônico http://globalchange.mit.edu/igsm/eppadl.html a pesquisadores interessados em trabalhar com o modelo.

para a atividade de produção *u*. As equações de lucro zero denotam as estruturas tecnológicas de cada setor e atividade da economia. A construção dessas equações utiliza as funções de custo unitário e as funções de demanda na sua forma calibrada pela proporção (*calibrated share form*), como descrito por Rutherford (2002). Tal formulação considera que o preço unitário de cada atividade deve ser igual aos custos dos insumos e fatores para produção da mesma, considerando as possibilidades de substituição descritas na metodologia. A diferenciação da função de lucro em relação aos preços dos insumos e produtos gera as demandas compensadas e de oferta (lema de Shepard), que serão utilizadas nas condições de equilíbrio de mercado.

ANEXO B - Tabela 1: Conjuntos e subconjuntos do modelo

| Notação | Descrição |
|---|---|
| *k, i, j*[1] | Setores e bens |
| *r, s* | Regiões |
| *Sub-setores de k:* | |
| *STIO* | Setores de serviços, transportes, intensivo em energia e de outras indústrias |
| *ASIO* | Setores de agricultura, serviços, intensivo em energia e de outras indústrias |
| *ENE* | Setores de energia: carvão, gás natural, petróleo, petróleo refinado e eletricidade |
| *ENOE* | Setores de energia não-elétricos: carvão, gás natural, petróleo e petróleo refinado |
| *FF* | Setores de energia fóssil primária: carvão, gás natural, petróleo |
| *ECGPR* | Setores de energia elétrica, carvão, gás natural e petróleo refinado |
| *CO* | Setores de carvão e petróleo |

[1] A Tabela 1 apresenta todos os elementos dos conjuntos *k* e *r* do modelo EPPA.
Fonte: Gurgel (2011)

ANEXO B - Tabela 2: Variáveis Endógenas (setores e níveis de preços)

| Variável | Descrição |
|---|---|
| $Y_{rk}$ | Produção do setor *k* na região *r* |
| $N_{rk}$ | Insumo energético agregado utilizado no setor *k* na região *r* |
| $M_{rk}$ | Importações agregadas do setor *k* na região *r* |
| $A_{rk}$ | Agregação Armington de bens domésticos e importados no setor *k* na região *r* |
| $U_r$ | Nível de utilidade das famílias na região *r* |
| $S_r$ | Poupança das famílias na região *r* |
| $C_r$ | Consumo agregado (bens e energia, exceto transporte) das famílias na região *r* |
| $CT_r$ | Consumo de transporte das famílias na região *r* |
| $\pi_{rk}^{Y}$ | Preço de produção do bem *k* produzido na região *r* |
| $\pi_{rk}^{A}$ | Preço do bem agregado *k* de Armington na região *r* |
| $\pi_{rk}^{N}$ | Preço do agregado energético no setor *k* na região *r* |
| $\pi_{r}^{LD}$ | Preço dos serviços do fator terra na região *r* |
| $\pi_{rk}^{EMB}$ | Preço da cesta agregada de energia e materiais no setor *k* na região *r* |
| $\pi_{r}^{PS}$ | Preço dos insumos substitutos perfeitos na produção de energia elétrica na região *r* |
| $\pi_{r}^{WS}$ | Preço dos insumos de energia eólica e solar na produção de energia elétrica na região *r* |
| $\pi_{rk}^{M}$ | Preço das importações agregadas do bem *k* importados pela região *r* |
| $\pi^{T}$ | Preço do transporte internacional |
| $w_r$ | Salário na região *r* |
| $r_r$ | Preço dos serviços de capital na região *r* |
| $q_{r}^{LD}$ | Preço dos serviços (retorno) da terra na região *r* |
| $q_{rk}$ | Preço dos serviços (retorno) dos recursos naturais fósseis na região *r* |
| $q_{r}^{NU}$ | Retorno dos recursos fixos utilizados no setor de energia nuclear na região *r* |
| $q_{r}^{HD}$ | Retorno dos recursos fixos utilizados no setor de energia nuclear na região *r* |
| $\pi_{rk}^{E}$ | Preço das permissões de GEEs no setor *k* na região *r* |
| $\pi_{rC}^{E}$ | Preço das permissões de GEEs no consumo final na região *r* |
| $p_{r}^{U}$ | Índice de preço da utilidade do consumidor na região *r* |
| $p_{r}^{S}$ | Índice de preço da poupança do consumidor na região *r* |
| $p_{r}^{OC}$ | Índice de preço da cesta de outros consumos na região *r* |
| $p_{r}^{T}$ | Índice de preço da cesta de transporte do consumidor na região *r* |

Fonte: Gurgel (2011)

ANEXO B - Tabela 3: Parâmetros iniciais de parcelas de custos ($\theta$), dotações de fatores e coeficientes técnicos (variáveis exógenas)

| Parâmetro[1] | Descrição |
|---|---|
| $\theta_{rjk}$ | Parcela do bem intermediário *j* no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{KLE}$ | Parcela da cesta KLE no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{N}$ | Parcela de energia na cesta KLE no setor *k* na região *r* |
| $\alpha_{rk}$ | Parcela de mão-de-obra no setor *k* na região *r* |
| $\alpha_{rN}$ | Parcela de mão-de-obra no setor de energia *nuclear* na região *r* |
| $\alpha_{rH}$ | Parcela de mão-de-obra no setor de energia hidroelétrica na região *r* |
| $\theta_{rk}^{ELE}$ | Parcela de eletricidade na demanda de energia pelo setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{VA}$ | Parcela de valor adicionado no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{r}^{LD}$ | Parcela do fator terra no setor AGR na região *r* |
| $\theta_{rk}^{II}$ | Parcela de insumos intermediários agregados no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rjk}^{ENOE}$ | Parcela do insumo *j* ϵ ENOE no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{R}$ | Parcela de recurso natural do setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{GAS}$ | Parcela de gás natural na cesta de combustíveis fósseis no setor *k* na região *r* |
| $\theta_{rk}^{PS}$ | Parcela de insumos substitutos perfeitos no setor de eletricidade na região *r* |
| $\theta_{rN}^{R}$ | Parcela do recurso fixo na produção de energia nuclear |
| $\theta_{rH}^{R}$ | Parcela do recurso fixo na produção de energia hidroelétrica |
| $\theta_{rk}^{D}$ | Parcela do bem doméstico *k* no Agregado de Armington na região *r* |
| $\theta_{srk}^{M}$ | Parcela das importações do bem *k* provientes da região *s* nas importações de *r* |
| $\theta_{r}^{S}$ | Parcela de custo com poupança no custos totais de consumo na região *r* |
| $\theta_{r}^{OC}$ | Parcela da cesta de outros consumos no consumo agregado na região *r* |
| $\theta_{rj}^{CE}$ | Parcela do agregado de energia no consumo final da região *r* |
| $\theta_{rj}^{C}$ | Parcela do bem *j* no consumo final da região *r* |
| $\theta_{C}^{TP}$ | Parcela do transporte próprio no consumo final da região *r* |
| $\theta_{C}^{RO}$ | Parcela de petróleo refinado para transporte no consumo final da região *r* |
| $\theta_{C}^{SE}$ | Parcela de serviços (seguros, manutenção, etc) e de bens de outras indústrias (automóveis, peças, etc) para transporte no consumo final da região *r* |
| $\omega_{r}^{L}$ | Dotação de trabalho na região *r* |
| $\omega_{r}^{K}$ | Dotação de capital na região *r* |
| $\omega_{r}^{LD}$ | Dotação de terra na região *r* |
| $\omega_{rk}^{R}$ | Dotação do recurso natural do setor *k* na região *r* (*k* ϵ FF) |
| $\omega_{r}^{NU}$ | Dotação do recurso fixo nuclear na região *r* |
| $\omega_{r}^{HD}$ | Dotação do recurso fixo hidroelétrico na região *r* |
| $\omega_{rk}^{E}$ | Dotação de permissões de carbono para o setor *k* na região *r* |
| $\omega_{rC}^{E}$ | Dotação de permissões de carbono para as famílias na região *r* |
| $\epsilon_{rk}^{j}$ | Coeficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil *j* ϵ ENOE no setor *k* na região *r* |
| $\epsilon_{rC}^{j}$ | Coeficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil *j* ϵ ENOE no consumo final na região *r* |
| $\bar{B}_r$ | Saldo do balanço de pagamentos na região *r*, tal que: $\sum_r \bar{B}_r = 0$ |
| $\mu_{rsk}$ | Coeficiente de custo unitário de transporte internacional do bem *k* da região *s* para a região *r* |

[1] As definições das elasticidades $\sigma$ encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Fonte: Gurgel (2011)

**Condições de Lucro Zero**

1. Produção de bens pelos setores SERV, EINT, TRAN, OTHR (STIO):

$$\Pi_{rk}^{Y} = \pi_{rk}^{Y} - \sum_{j \notin ENE} \theta_{rjk}\pi_{rj}^{A} - \theta_{rk}^{KLE}\left[\theta_{rk}^{N}\left(\pi_{rk}^{N}\right)^{1-\sigma_{EVA}} + \left(1-\theta_{rk}^{N}\right)\left(w_{r}^{\alpha_{rk}} r_{r}^{1-\alpha_{rk}}\right)^{1-\sigma_{EVA}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} = 0 \; \forall \; k \in STIO$$

2. Produção de bens do setor AGR

$$\Pi_{rk}^{Y} = \pi_{rk}^{Y} - \left\{\theta_{rk}^{VA}\left(w_{r}^{\alpha_{rk}} r_{r}^{1-\alpha_{rk}}\right)^{1-\sigma_{ERVA}} + (1 - \theta_{rk}^{VA})\left[\theta_{r}^{LD}(q_{r}^{LD})^{1-\sigma_{ER}} + (1-\theta_{r}^{LD})\pi_{rk}^{EMB\,1-\sigma_{ER}}\right]^{\frac{1-\sigma_{ERVA}}{1-\sigma_{ER}}}\right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{ERVA}}} = 0 \; \forall \; k \in AGR$$

$$\Pi_{rk}^{EMB} = \pi_{rk}^{EMB} - \left\{\theta_{rk}^{II}\left(\sum_{j \notin ENE} \theta_{rjk}\pi_{rj}^{A}\right)^{1-\sigma_{AE}} + (1-\theta_{rk}^{II})\pi_{rk}^{N\;1-\sigma_{AE}}\right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{AE}}} = 0 \; \forall \; k \in AGR$$

3. Produção de energia primária de combustíveis fósseis:

$$\Pi_{rk}^{Y} = \pi_{rk}^{Y} - \left[\theta_{rk}^{R} q_{rk}^{1-\sigma_{GR}} + (1-\theta_{rk}^{R})\left(\sum_{j \notin ENE} \theta_{rjk}\,\pi_{rj}^{A} + \left(w_{r}^{\alpha_{rk}} r_{r}^{1-\alpha_{rk}}\right)\right)^{1-\sigma_{GR}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{GR}}} = 0 \; \forall \; k \in FF$$

4. Produção de petróleo refinado

$$\Pi_{rk}^{Y} = \pi_{rk}^{Y} - \sum_{j \notin ECGPR} \theta_{rjk}\pi_{rj}^{A} - \theta_{rk}^{KLE}\left[\theta_{rk}^{N}\left(\pi_{rk}^{N}\right)^{1-\sigma_{EVA}} + \left(1-\theta_{rk}^{N}\right)\left(w_{r}^{\alpha_{rk}} r_{r}^{1-\alpha_{rk}}\right)^{1-\sigma_{EVA}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} = 0 \; \forall \; k \in ROIL$$

5. Produção de eletricidade

$$\Pi_{rk}^{Y} = \pi_{rk}^{Y} - \left[\theta_{rk}^{PS}\pi_{r}^{PS\,1-\sigma_{WS}} + (1-\theta_{rk}^{PS})\pi_{r}^{WS\,1-\sigma_{WS}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{WS}}} = 0 \; \forall \; k \in ELE$$

$$\Pi_{r}^{PS} = \pi_{r}^{PS} - \left(\sum_{j \notin ENE} \theta_{rjELE}\,\pi_{rj}^{A} + \theta_{rELE}^{KLE}\left[\theta_{rELE}^{N}(\pi_{rELE}^{N})^{1-\sigma_{EVA}} + (1-\theta_{rELE}^{N})\left(w_{r}^{\alpha_{rELE}} r_{r}^{1-\alpha_{rELE}}\right)^{1-\sigma_{EVA}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}}\right) = 0$$

$$\Pi_{r}^{PS} = \pi_{r}^{PS} - \left[\theta_{rN}^{R} q_{r}^{NU\,1-\sigma_{NGR}} + (1-\theta_{rN}^{R})\left(w_{r}^{\alpha_{rN}} r_{r}^{1-\alpha_{rN}}\right)^{1-\sigma_{NGR}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{NGR}}} = 0$$

$$\Pi_{r}^{PS} = \pi_{r}^{PS} - \left[\theta_{rH}^{R} q_{r}^{HD\,1-\sigma_{NGR}} + (1-\theta_{rH}^{R})\left(w_{r}^{\alpha_{rH}} r_{r}^{1-\alpha_{rH}}\right)^{1-\sigma_{NGR}}\right]^{\frac{1}{1-\sigma_{NGR}}} = 0$$

6. Agregado de insumos energéticos específico por setor

$$\Pi_{rk}^{N} = \pi_{rk}^{N} - \left\{ \theta_{rk}^{ELE}\left(\pi_{rELE}^{A}\right)^{1-\sigma_{ENOE}} + \left(1-\theta_{rk}^{ELE}\right)\left(\sum_{j\in ENOE} \theta_{rjk}\,(\pi_{rj}^{A} + \pi_{rk}^{E}\epsilon_{rk}^{j})^{1-\sigma_{EN}}\right)^{\frac{(1-\sigma_{ENOE})}{(1-\sigma_{EN})}} \right\}$$

$$= 0 \;\forall\; k \in STIO \; e \; AGR$$

$$\Pi_{rk}^{N} = \pi_{rk}^{N} - \left\{ \theta_{rk}^{ELE}(\pi_{rELE}^{A})^{1-\sigma_{ENOE}} + (1-\theta_{rk}^{ELE})\left(\sum_{j\in FF} \theta_{rjk}\,(\pi_{rj}^{A} + \pi_{rk}^{E}\epsilon_{rk}^{j})^{1-\sigma_{EN}}\right)^{\frac{(1-\sigma_{ENOE})}{(1-\sigma_{EN})}} \right\}$$

$$= 0 \;\forall\; k \in ROIL$$

$$\Pi_{rk}^{N} = \pi_{rk}^{N} - \left\{ \theta_{rk}^{ELE}(\pi_{rELE}^{A})^{1-\sigma_{ENOE}} + (1 - \theta_{rk}^{ELE})\left[\theta_{rk}^{GAS}\left(\pi_{rGAS}^{A} + \pi_{rk}^{E}\epsilon_{rk}^{GAS}\right)^{1-\sigma_{COG}} + (1 - \theta_{rk}^{GAS})\left(\sum_{j\in CO} \theta_{rjk}\,(\pi_{rj}^{A} + \pi_{rk}^{E}\epsilon_{rk}^{j})^{1-\sigma_{CO}}\right)^{\frac{(1-\sigma_{COG})}{(1-\sigma_{CO})}}\right]^{\frac{(1-\sigma_{ENOE})}{(1-\sigma_{COG})}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{ENOE}}} = 0 \;\forall\; k \in ELE$$

7. Agregado de Armington:

$$\Pi_{rk}^{A} = \pi_{rk}^{A} - \left[\theta_{rk}^{D}(\pi_{rk}^{Y})^{1-\sigma_{DM}} + \left(1-\theta_{rk}^{D}\right)(\pi_{rk}^{M})^{1-\sigma_{DM}}\right]^{1/(1-\sigma_{DM})} = 0$$

8. Agregação de importações de diferentes regiões:

$$\Pi_{rk}^{M} = \pi_{rk}^{M} - \left(\sum_{s} \theta_{ksi}^{M}(\pi_{sk}^{Y} + \mu_{ksi}\pi^{T})^{1-\sigma_{MM}}\right)^{1/(1-\sigma_{MM})} = 0$$

9. Nível de utilidade das famílias (poupança e consumo):

$$\Pi_{r}^{U} = p_{r}^{U} - \left\{\theta_{r}^{S}(p_{r}^{S})^{1-\sigma_{CS}} + (1-\theta_{r}^{S})[\theta_{r}^{OC}(p_{r}^{OC})^{1-\sigma_{CT}} + (1-\theta_{r}^{OC})(p_{r}^{T})^{1-\sigma_{CT}}]^{\frac{1-\sigma_{CS}}{1-\sigma_{CT}}}\right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{CS}}} = 0$$

10. Demanda de energia e outros bens pelas famílias

$$\Pi_r^{OC} = p_r^{OC} - \left\{ \left[ \theta_r^{CE} \left( \sum_{j \in ENOE} \theta_{rj}^{C} \left(\pi_{rj}^{A} + \pi_{rC}^{E} \epsilon_{rC}^{j}\right)^{1-\sigma_{EF}} \right)^{\frac{1}{(1-\sigma_{EF})}} \right]^{1-\sigma_{EC}} + \left[ (1-\theta_r^{CE}) \left( \sum_{j \in ASIO} \theta_{rj}^{C} \left(\pi_{rj}^{A}\right)^{1-\sigma_C} \right)^{\frac{1}{(1-\sigma_C)}} \right]^{1-\sigma_{EC}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{EC}}} = 0$$

10. Demanda de serviços de transporte pelas famílias

$$\Pi_r^{CT} = p_r^{T} - \left\{ \theta_C^{TP} \left\{ \theta_C^{RO} \left(\pi_{rROIL}^{A} + \pi_{rROIL}^{A} \epsilon_{rC}^{ROIL}\right)^{1-\sigma_{FSO}} + (1 - \theta_C^{RO}) \left[ \theta_C^{SE} \left(\pi_{rSEV}^{A}\right)^{1-\sigma_{SO}} + (1-\theta_C^{SE}) \left(\pi_{rOTHR}^{A}\right)^{1-\sigma_{SO}} \right]^{\frac{1-\sigma_{FSO}}{1-\sigma_{SO}}} \right\}^{\frac{1-\sigma_{PO}}{1-\sigma_{FSO}}} + (1 - \theta_C^{TP}) \left(\pi_{rTRAN}^{A}\right)^{1-\sigma_{PO}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{PO}}} = 0$$

**Condições de Equilíbrio dos Mercados**

11. Trabalho

$$\omega_r^{L} = \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial w_r}$$

12. Capital

$$\omega_r^{K} = \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial r_r}$$

13. Terra

$$\omega_r^{LD} = Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial q_r^{LD}} \quad \forall\, k \in AGR$$

14. Recursos naturais (reservas de combustíveis fósseis)

$$\omega_{rk}^{R} = Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial q_{rk}} \quad \forall\, k \in FF$$

15. Recursos fixos (nuclear e hidroelétrico)

$$\omega_r^{NU} = Y_{rELE} \frac{\partial \Pi_r^{PS}}{\partial q_r^{NU}}$$

$$\omega_r^{HD} = Y_{rELE} \frac{\partial \Pi_r^{PS}}{\partial q_r^{HD}}$$

16. Produção setorial

$$Y_{rk} = A_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{A}}{\partial \pi_{rk}^{Y}} + \sum_{s \neq r} M_{sk}\frac{\partial \Pi_{sk}^{M}}{\partial \pi_{rk}^{Y}}$$

17. Demanda de energia setorial

$$N_{rk} = Y_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial \pi_{rk}^{N}}$$

18. Oferta de importação

$$M_{rk} = A_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{A}}{\partial \pi_{rk}^{M}}$$

19. Oferta agregada Armington

$$A_{rj} = \sum_{k} Y_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + C_r\frac{\partial \Pi_{r}^{OC}}{\partial \pi_{rj}^{A}}$$

$$A_{rj} = \sum_{k \epsilon STIO} Y_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + \sum_{k \epsilon ENOE} Y_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{Y}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + Y_{rAGR}\frac{\partial \Pi_{rAGR}^{EMB}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + Y_{rELE}\frac{\partial \Pi_{r}^{PS}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + C_r\frac{\partial \Pi_{r}^{OC}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + CT_r\frac{\partial \Pi_{r}^{CT}}{\partial \pi_{rj}^{A}} \quad \forall\, j \notin ENE$$

$$A_{rj} = \sum_{k} N_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{N}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + C_r\frac{\partial \Pi_{r}^{OC}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + CT_r\frac{\partial \Pi_{r}^{CT}}{\partial \pi_{rj}^{A}} \quad \forall\, j \in ECGPR$$

$$A_{rj} = \sum_{k \notin ROIL} N_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{N}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + Y_{rROIL}\frac{\partial \Pi_{rROIL}^{Y}}{\partial \pi_{rj}^{A}} + C_r\frac{\partial \Pi_{r}^{OC}}{\partial \pi_{rj}^{A}} \quad \forall\, j \in OIL$$

20. Demanda por poupança pelas famílias

$$S_r = U_r\frac{\partial \Pi_{r}^{U}}{\partial p_{r}^{S}}$$

21. Demanda final por bens e serviços (incluindo energia) pelas famílias

$$C_r = U_r\frac{\partial \Pi_{r}^{U}}{\partial p_{r}^{OC}}$$

22. Demanda final de serviços de transporte pelas famílias

$$CT_r = U_r\frac{\partial \Pi_{r}^{U}}{\partial p_{r}^{T}}$$

23. Emissões de carbono pelos setores

$$\omega_{rk}^{E} = N_{rk}\frac{\partial \Pi_{rk}^{N}}{\partial \pi_{rk}^{E}}$$

24. Emissões de carbono pelas famílias

$$\omega_{rC}^{E} = N_{rk}\frac{\partial \Pi_{r}^{OC}}{\partial \pi_{rC}^{E}}$$

**Balanço da renda**

$$p_r^U U_r = w_r\,\omega_r^L + r_r\,\omega_r^K + q_r^{LD}\omega_r^{LD} + \sum_{k\in FF} q_{rk}\omega_{rk}^R + q_r^{NU}\omega_r^{NU} + q_r^{HD}\omega_r^{HD} + \sum_k \pi_{rk}^E\omega_{rk}^E + \pi_{rC}^E\omega_{rC}^E + \bar{B}_r$$

Deve-se notar que as condições de lucro zero que envolvem a demanda de energia fóssil explicitam como as políticas de restrições às emissões de carbono são introduzidas no modelo. Nessas equações, o preço do insumo energético de origem fóssil ($\pi_{rj}^A$) é somado ao preço das permissões de emissões ($\pi_{rk}^E\epsilon_{rk}^j$), considerando o coeficiente físico de emissões específico de cada combustível para cada setor da economia. Dessa forma, quando a política é implementada, ativa-se a necessidade de utilizar para cada unidade monetária de energia o equivalente, em unidades físicas, de permissões de emissões correspondente ao que seria emitido pelo setor ao consumir aquele valor de energia. O preço das permissões pode ser especificado por setor emissor (*k*) como representado nas equações, ou ainda, como um preço único para a economia ($\pi_r^E$) no caso de mercados nacionais de carbono, ou ainda como um preço único para o mundo ou grupo de regiões ($\pi^E$) no caso de mercados internacionais de emissões.

Por fim, deve-se ilustrar como é feita a programação do MPSGE, uma vez que a representação algébrica descrita anteriormente não precisa ser digitada pelo modelador, sendo construída automaticamente pelo software. Abaixo representa-se o bloco de produção dos setores de serviços, transportes, bens intensivos em energia e outras indústrias na linguagem de programação do MPSGE:

```
$PROD:Y(k,r)   s:0  ee:sigmaEVA(r,k) va(ee):sigmaVA(r,k)
O:PY(k,r)            Q:XP0(r,k)
I:PA(ne,r)            Q:XDP0(r,ne,k)
I:PL(r)               Q:LABD(r,k)      va:
I:PK(r)               Q:KAPD(r,k)      va:
I:PEN(k,r)            Q:ENE(k,r)        ee:
```

O bloco de produção acima indica que o setor Y(k,r) produz uma bem cujo preço é PY(k,r), a partir da combinação de: insumos intermediários com preços PA(ne,r), provenientes da oferta de bens agregados Armington não energéticos (subconjunto ne); trabalho (preço PL); capital (preço PK); e um agregado de insumos energéticos de preço PEN(k,r). O nível de Y e dos diversos preços são variáveis endógenas no modelo. Os parâmetros especificados após os campos “Q:” indicam os valores na base de dados inicial do

modelo relacionados com cada um dos preços, ou seja, o valor inicial da produção do setor (XP0), o valor dos insumos intermediários (XDP0), o valor dos serviços de trabalho (LABD) e de capital (KAPD) e o valor do agregado de insumos energéticos (ENE). Para que a condição de lucro zero seja satisfeita, a soma dos valores dos insumos deve ser igual ao valor da produção. Por último, o código após a especificação dos parâmetros da base de dados ("va:" e "ee:") indicam as possibilidades de substituição na árvore tecnológica. O valor das elasticidades de substituição são especificados na primeira linha do código, logo após a definição do bloco de produção $PROD:Y(k,r). A especificação "s:" indica o nível de substituição mais alto na árvore tecnológica e não precisa ser colocado na linha dos insumos. O valor zero na frente deste símbolo indica que a função assume proporções fixas de insumos intermediários e do agregado dos demais insumos (cesta KLE). A especificação "ee:" define a elasticidade sigmaEVA entre o agregado de insumos energéticos e o valor adicionado, enquanto a especificação "va:" determina a elasticidade sigmaVA entre os componentes do valor adicionado. Maiores detalhes sobre a formulação do modelo EPPA podem ser encontrados em Paltsev et al. (2005), enquanto maiores informações sobre a álgebra criada pelo MPSGE podem ser obtidas em Rutherford (1995, 1999).