

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

CAROLINE DE SOUZA RODRIGUES CABRAL

Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil

ORIENTADOR: PROF. DR. ÂNGELO 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

CAROLINE DE SOUZA RODRIGUES CABRAL

Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil

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. ÂNGELO 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.

Cabral, Caroline de Souza Rodrigues

Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil.
Ribeirão Preto, 2013.

132 p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia,
Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de
concentração: Economia do Meio Ambiente e Recursos Naturais.

Orientador: Gurgel, Ângelo Costa.

1. Desmatamento. 2. Mudanças no uso da terra. 3. Agropecuária. 4.
Equilíbrio Geral.

Nome: CABRAL, Caroline de Souza Rodrigues

Título: Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil

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.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

*Dedico esta dissertação à minha família,
pelo apoio e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Ângelo Costa Gurgel, pela atenção, apoio e paciência durante o processo de orientação, contribuindo para meu crescimento científico e intelectual.

Aos meus pais e aos meus irmãos, pela compreensão, carinho e incansável apoio ao longo do período de elaboração deste trabalho.

À Universidade de São Paulo (USP) e à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEARP) pela estrutura e oportunidade concedida.

Ao CNPq e à FUNDACE que durante o curso colaboraram com o suporte financeiro necessário para minha dedicação aos estudos.

Aos funcionários e professores do Departamento de Economia da FEARP/USP, pela cordialidade e dedicação que me proporcionaram o suporte necessário para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos pelo companheirismo e pelos inúmeros momentos em que compartilhamos conhecimentos e experiências. Em especial aos meus colegas de mestrado, Alemão (Rodrigo Leifert), Fê (Felícia Santos), Guarujá (Rodrigo Alvarez), Gui (Guilherme Byrro), Ju (Juliana Iorio), Livia (Livia Sacchetti), Mari (Mariana Oliveira), Naysa (Naysa Brasil), Pri (Priscila Godoy), por tudo que vivemos durante esses anos de mestrado.

RESUMO

CABRAL, C. S. R. **Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil**. 2013. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

O fenômeno de aquecimento do planeta, conhecido como “Efeito Estufa”, é um dos fenômenos de degradação ambiental mais alarmante. Países que mais emitem os gases de efeito estufa (GEEs) têm, portanto, sofrido forte pressão internacional para que reduzam tais emissões. No caso do Brasil, grande atenção é voltada à questão do desmatamento, um dos maiores responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono. Com isso, o país se comprometeu a reduzir suas emissões entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas para 2020. Para conseguir isso, foi promulgada a Lei nº 12.187, que regula que uma das medidas a serem tomadas é a redução de 80% do desmatamento na Amazônia Legal e de 40% do desmatamento no Cerrado. Assim como o aquecimento global, a produção de alimentos também é um dos maiores desafios do mundo moderno. Mais uma vez, Brasil tem um papel fundamental nesta questão, organizações como a OCDE e a FAO afirmam que o Brasil é o país com maior potencial de aumentar a produção agrícola. Ademais, a importância da produção de alimentos para o Brasil é reforçada pelo fato de que o agronegócio é um setor fundamental da economia brasileira tanto em termos de geração de renda quanto para promoção de divisas. Uma questão importante é como a agropecuária brasileira será impactada diante da redução no desmatamento da Amazônia e do Cerrado. Uma hipótese é que frear o desmatamento resultaria em redução significativa na produção agropecuária, maiores preços dos produtos agropecuários e alimentos, e menor geração de renda. O presente trabalho objetiva responder essa questão por analisar os impactos econômicos de uma política restritiva de desmatamento sobre o setor agropecuário e a economia nacional, uma vez que essa discussão é recente e ainda carece de estudos mais abrangentes. Para esse propósito é utilizado o modelo de equilíbrio geral computável EPPA, capaz de considerar as relações entre os diferentes setores da economia e uma ampla gama de distorções de políticas. Os resultados deste estudo apontam que uma política restritiva de desmatamento gera perdas pequenas em termos de PIB, de aproximadamente 0,15% no cenário de política em relação ao cenário de referência. Os impactos sofridos pela produção são modestos, de queda de até 1,9% no setor agrícola, -1,8% na pecuária e -1,5% no setor de alimentos. As exportações do agronegócio, no entanto, reduzem em mais de 3,9%. Um resultado positivo importante é que em torno de 68 milhões de hectares de florestas e cerrados deixam de ser transformados em área agrícola, até 2050. Esses resultados sugerem custos econômicos pouco expressivos diante dos potenciais benefícios de preservação ambiental, e devem-se em grande parte à capacidade de aumento em produtividade das pastagens brasileiras e conversão de áreas de vegetação secundária e subaproveitadas em cultivos agrícolas.

Palavras-chave: Desmatamento. Mudanças no uso da terra. Agropecuária. Equilíbrio Geral

ABSTRACT

CABRAL, C. S. R. **Economic impacts of limiting deforestation in Brazil**. 2013. 132 p. Dissertation (Master) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2013.

The global warming phenomenon known as the “Greenhouse Effect” is one of the most alarming phenomena of environmental degradation. Countries that have been larger emitters of greenhouse gases (GHGs) have therefore received strong international pressure to reduce such emissions. In Brazil, much of the attention is focused on the issue of deforestation, a leading cause of carbon dioxide. As a result, the country has committed to reducing its emissions between 36.1% and 38.9% compared to projected emissions by 2020. In order to accomplish this, Law nº 12.187 was enacted, which regulates that deforestation in the Amazon be reduced by 80% and in the Cerrado (savannah) by 40% by the year 2020. Just as global warming is one of the largest challenges facing the modern world, so is food production. Once again, Brazil has a critical role in this issue, organizations as the OECD and FAO recognize that Brazil is the country with the greatest potential to increase agricultural production. Moreover, the importance of food production to Brazil is enhanced by the fact that agribusiness is a key sector of the Brazilian economy in terms of its contribution to both income generation and for promotion of foreign exchange. The key question is how will Brazil’s agricultural and livestock sectors be impacted by a reduction in deforestation in the Amazon and Cerrado. One hypothesis is that halting deforestation would imply significantly lower agricultural production, higher prices of agricultural products and food and lower income generation. This study serves to answer this question by analyzing the economic impacts of a restrictive policy of deforestation on the agricultural and livestock sectors and the national economy, a growing topic and concern that has yet to be studied in significant detail. For this purpose, the computable general equilibrium model EPPA is utilized, able to consider the relationships between different economic sectors and a wide range of policy distortions. The results of this study reveal that a restrictive policy of deforestation causes only small losses to GDP, of approximately 0.15% in the policy scenario compared to the baseline scenario. The impacts suffered by the production are modest: -1.9% in agriculture, -1.8% in livestock and -1.5% in the food sector. Agribusiness exports, however, decrease by a higher 3.9%. An important positive result is that around 68 million hectares of forests and savannahs cease to be transformed into agricultural land by 2050. These results suggest little economic costs against the potential benefits of environmental preservation, and are due in large part to the ability to increase pasture productivity in Brazil and conversion of areas of secondary vegetation and underutilized in areas of crops.

Keywords: Deforestation. Land use changes. Agriculture and livestock. General equilibrium.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura aninhada dos setores de serviços, transporte, intensivos em energia e outras indústrias.....	45
Figura 2 – Estrutura aninhada de produção da agricultura.....	46
Figura 3 – Estrutura aninhada do setor de geração de eletricidade.....	47
Figura 4 – Estrutura aninhada dos setores primários de energia fóssil.....	48
Figura 5 – Estrutura aninhada do setor de petróleo refinado.....	48
Figura 6 – Estrutura aninhada do consumo das famílias.....	50
Figura 7 – Estrutura das funções de conversão do uso da terra.....	53
Figura 8 – Estrutura da produção de petróleo de xisto e de biocombustível.....	62
Figura 9 – Estrutura tecnológica bioelétrica e eólica & solar.....	62
Figura 10 – Estrutura tecnológica de gaseificação de carvão.....	63
Figura 11 – Tecnologia de eletricidade fóssil avançada.....	63
Figura 12 – Tecnologia de produção de biomassa para biocombustíveis de primeira geração.....	66
Figura 13 – Tecnologia de produção de biocombustíveis de primeira geração.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Equilíbrio de mercado.....	33
Gráfico 2 - Mudanças (%) no produto da agricultura nos cenários de referência em relação ao cenário de política.....	75
Gráfico 3 - Mudanças (%) no produto da pecuária nos cenários de referência em relação ao cenário de política.....	76
Gráfico 4 - Mudanças (%) no produto do setor de alimentos nos cenários de referência em relação ao cenário de política.....	76
Gráfico 5 – Trajetória das áreas de vegetação natural na categoria NFORS.....	78
Gráfico 6 – Trajetória das áreas de vegetação natural na categoria NGRASS.....	79
Gráfico 7 – Trajetória das áreas utilizadas por culturas.....	80
Gráfico 8 – Trajetória das áreas utilizadas pela pecuária.....	80
Gráfico 9 – Trajetória das áreas utilizadas pela categoria FORS.....	81
Gráfico 10 – Mudanças (%) no PIB nos cenários de redução do desmatamento em relação ao cenário de referência.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desmatamento na Amazônia Legal – em km ²	14
Tabela 2 – Classes de uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia.....	23
Tabela 3 – Agregações utilizadas pelo modelo EPPA.....	39
Tabela 4 – Elasticidades de substituição dos setores produtivos.....	44
Tabela 5 – Elasticidade de substituição no consumo final.....	49
Tabela 6 – Total de áreas por categoria em cada categoria do modelo EPPA calibrados para o ano de 2010 – em mil ha.....	52
Tabela 7 - Renda da terra por ha nas regiões do EPPA, em 2004 – em US\$/ha.....	55
Tabela 8 - Parâmetros utilizados nas funções de transformação de uso da terra.....	56
Tabela 9 – Tecnologias alternativas disponíveis no modelo EPPA.....	61
Tabela 10 – Elasticidade de substituição de insumos nas tecnologias alternativas.....	64
Tabela 11 – <i>Mark-up</i> e parcelas de custos com insumo para as tecnologias alternativas.....	65
Tabela 12 – Total de áreas permitidas de desmatamento no modelo por bioma – em mil ha..	73
Tabela 13 – Total de áreas permitidas de desmatamento no modelo em cada cenário – em mil ha.....	74
Tabela 14 – Mudanças nas exportações de alimentos e da agricultura nos cenários de política em relação ao cenário de referência – em %.....	82
Tabela 15 – Mudanças nas importações de alimentos e da agricultura nos cenários de política em relação ao cenário de referência – em %.....	82
Tabela 16 – Variações dos preços de oferta doméstica entre os cenários de política e o cenário de referência – em %.....	84
Tabela 17 – Mudanças em bem-estar entre os cenários de política e o cenário REF – em %..	86
Tabela 18 – Desmatamento evitado no Brasil e variação no desmatamento em outras regiões do mundo entre os cenários de política e o cenário de referência, em 2050 – em mil ha.....	87
Tabela 19 – Taxa de subsídio (%) paga aos produtores dos setores agrícola e pecuário.....	88

Tabela 20 – Mudanças em áreas por categoria entre os cenários de políticas e o cenário de referência – em %.....	88
Tabela 21 – Mudanças no PIB e bem-estar entre o cenário de política de desmatamento e subsídio e o cenário de referência – em %.....	89
Tabela 22 – Mudanças em outros indicadores econômicos entre o cenário de política de desmatamento e subsídio e o cenário de referência – em %.....	90
Tabela 23 – Áreas por categoria de uso da terra entre os cenários simulados nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas em 2050 – em mil ha.....	93
Tabela 24 – Mudanças em bem-estar e no PIB nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %.....	93
Tabela 25 – Mudanças na produção do setor agropecuário nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %.....	94
Tabela 26 – Mudanças nos preços dos produtos agropecuários nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %.....	94
Tabela 27 - Conjuntos e subconjuntos do modelo.....	117
Tabela 28 - Variáveis Endógenas (setores e níveis de preços).....	118
Tabela 29- Parâmetros iniciais de parcelas de custos (θ), dotações de fatores e coeficientes técnicos (variáveis exógenas).....	119
Tabela 30 – Produção por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004)....	126
Tabela 31 – Áreas por categoria no cenário de referência – em mil hectares.....	126
Tabela 32 – Exportações líquidas por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004).....	126
Tabela 33 – Importações líquidas por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004).....	126
Tabela 34 – Preços de oferta doméstica por setor no cenário de referência – índice de preços (2004=1).....	126
Tabela 35 – PIB e bem-estar no cenário de referência.....	127
Tabela 36 – Áreas florestais em outras partes do mundo no cenário de referência – em milhões de hectares.....	127
Tabela 37 – Mapeamento de setores do GTAP para o EPPA.....	130
Tabela 38 – Mapeamento de regiões do GTAP para o EPPA.....	131

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.1 Ocupação da terra e desmatamento no Brasil.....	19
1.1.1 O caso da Amazônia.....	20
1.1.2 O caso do Cerrado.....	23
1.2 Restrições territoriais no Brasil e suas implicações econômicas.....	27
1.3 Aspectos teóricos.....	30
1.4 Modelos econômicos, políticas climáticas e mudanças no uso da terra.....	34
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DADOS.....	38
2.1 O modelo EPPA.....	38
2.2 Dados.....	40
2.3 Estrutura de equilíbrio.....	41
2.3.1 Representação da produção.....	43
2.3.2 Consumo.....	48
2.3.3 Comércio internacional.....	51
2.3.4 Mudanças no uso da terra.....	51
2.3.5 Fechamento do modelo.....	56
2.4 Dinâmica do modelo.....	57
2.4.1 Evolução do capital.....	59
2.4.2 Tecnologias alternativas.....	61
2.5 Biocombustíveis.....	65
3 CENÁRIOS DE POLÍTICAS DE REDUÇÃO DO DESMATAMENTO.....	69
3.1 Políticas climáticas do governo brasileiro.....	69
3.2 Cenários implementados.....	72
4 RESULTADOS.....	75
4.1 Produção da agricultura, pecuária e de alimentos.....	75
4.2 Mudanças no uso da terra.....	77
4.3 Balança comercial setorial.....	81
4.4 Preços.....	83
4.5 PIB.....	84
4.6 Impactos sobre o bem-estar.....	85
4.7 Áreas florestais em outras partes do mundo.....	86
4.8 Subsídios à produção agropecuária.....	87
4.9 Análise de sensibilidade.....	91
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
APÊNDICE A – Considerações sobre as áreas de uso da terra no modelo EPPA.....	114
APÊNDICE B – A Álgebra do Modelo EPPA.....	116
APÊNDICE C – Resultados do cenário de referência.....	126
ANEXO A – Ações e Metas do PPCDAm para 2009-2011.....	126
ANEXO B – Mapeamento de Setores e Regiões do GTAP para o EPPA.....	130

Introdução

Não se pode negar que o homem, para garantir sua sobrevivência e seu conforto, começou a alterar a natureza desde quando começou a viver em grandes comunidades. Esse processo que começou de forma insignificante, hoje tomou proporções preocupantes, na medida em que as alterações na vegetação, no ar atmosférico, na absorvidade e refletividade da superfície terrestre, na permeabilidade do solo e nas águas ocorrem em nível global. O ritmo em que essas alterações ocorreram se deram em conformidade com o progresso técnico e o aumento populacional, que exigiram entre outros fatores, a exploração de recursos naturais e o avanço de áreas agrícolas para a produção de alimentos.

A população mundial, que no ano 1 D.C. era de 250 milhões, passou no início dos anos de 1800 para 1 bilhão de habitantes, chegando a marca de 7 bilhões em 2011. Em contrapartida, estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC sigla em inglês) mostram que há uns 400.000 anos atrás a concentração de CO₂ era de 180 ppmv (partes por milhão em volume), mas com a Revolução Industrial passou de 280 ppmv em 1800 para 387 ppmv nos dias atuais. Além disso, a partir do século XIX, a temperatura média da superfície aumentou entre 0,4°C e 0,8°C e o nível dos oceanos subiu de 10 a 20 centímetros apenas no século XX. Essas são apenas algumas das alterações da Biosfera associadas às transformações causadas pelo homem em escala global.

O fenômeno de aquecimento do planeta, conhecido como “Efeito Estufa” é um dos fenômenos de degradação ambiental mais alarmante. O aumento da quantidade de gases de efeito estufa (GEEs) modifica a temperatura atmosférica e oceânica, a circulação associada e os tipos de clima. Estimativas do IPCC apontam para um aumento da temperatura atmosférica média entre 1,1°C e 6,4°C entre 1990 e 2100, sendo 1°C o nível máximo atingido no último milhão de anos (IPCC, 2007a; 2007b; 2007c). As atividades que mais amplificam a concentração desses gases na atmosfera são: queima de combustíveis fósseis, desmatamento, utilização de insumos com alta concentração de nitrogênio na agricultura, produção de gases refrigerantes e a criação de rebanhos em que os dejetos são fonte de metano.

Com o atual cenário, as discussões sobre a problemática ambiental saiu do meio acadêmico e da instância regional e atingiu as escalas mais altas do poder em nível mundial, que buscam não apenas tomar medidas isoladas, mas também coordenadas em conjunto. Os países que mais emitem os gases de efeito estufa (GEEs) têm sofrido forte pressão internacional para que reduzam tais emissões. Historicamente, os que mais emitem são os mais industrializados,

sendo os EUA o maior deles, em acúmulo de emissões no tempo. Mas na atualidade, os países em desenvolvimento, entre eles China, Índia e Brasil, também se posicionam entre os maiores emissores.

No caso do Brasil, grande atenção é voltada à questão do desmatamento, um dos maiores responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂) - principal gás de efeito estufa. Segundo dados do último Inventário Brasileiro das Emissões, cerca de 77% das emissões de CO₂ em 2005 foram causadas por mudanças do uso da terra e florestas, que cresceram 64% em relação a 1990 (BRASIL, 2010b). Isso se deve ao elevado índice de desmatamentos registrados na Amazônia e no Cerrado na década passada. Estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) provenientes do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) apontam que mais de 700 mil km² já foram desmatados na Amazônia Legal, o que corresponde a 17% da cobertura original da floresta. Desse total, 183,5 mil km² (cerca de 26%) foram desmatados na última década, como mostram os dados da tabela abaixo.

Tabela 1 – Desmatamento na Amazônia Legal – em km²

Ano	Desmatamento
2000	18.226
2001	18.165
2002	21.651
2003	25.396
2004	27.772
2005	19.014
2006	14.286
2007	11.651
2008	12.911
2009	7.464
2010	7.000
2011	6.418
2012	4.656

Fonte: INPE.

No Cerrado, dados do programa Monitoramento do Bioma Cerrado do Ministério do Meio Ambiente mostram que a taxa anual de desmatamento foi de 14.179 mil km² entre 2002 e 2008 e de 7.637 mil km² em 2009. As áreas naturais remanescentes diminuíram de 55,73% do bioma em 2002, para 51,54% em 2008.

Com isso, nos últimos anos, o governo brasileiro criou uma série de dispositivos institucionais para dar efetividade e legitimidade aos esforços para conter o desmatamento e reduzir as

emissões de GEEs. Como um dos primeiros, o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm), criado em 2004, tinha como objetivo reduzir substancialmente a taxa de desmatamento, que apresentava uma curva ascendente naquela década, como pode ser visto na Tabela 1. No entanto, apesar dos esforços no âmbito desse plano, estes não foram suficientes para frear uma retomada do aumento nas taxas de desmatamento em 2008.

Mas diante da necessidade de adotar medidas efetivas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e de redução do desmatamento, e ante a iminente realização da 15ª Conferência das Partes (COP-15) em dezembro de 2009, o governo brasileiro apresentou ao congresso dois projetos de Lei que instituía uma política e um fundo nacional sobre mudança do clima. Aprovada na Lei nº 12.187 de dezembro de 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) constitui estratégia permanente, que norteia a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, dos planos estaduais e de outros planos, como o PPCDam e o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado), programas, projetos e ações relacionados com a mudança do clima (BRASIL, 2009a). A política tem como objetivos, entre outros, compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático, consolidar e expandir as áreas protegidas e incentivar reflorestamentos (SILVA, 2010). Além disso, oficializa o compromisso voluntário do Brasil assumido na COP15, em 2009, e oficializado na COP16, em 2010 de redução de emissões de GEEs entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Para conseguir reduzir tais emissões, a lei regula que uma das medidas a serem tomadas é a redução de 80% do desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005, e de 40% do desmatamento no Cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008.

Dado essa interface entre emissões e desmatamento, ganharam vigor também as propostas de modificações do Código Florestal brasileiro, que foi substituído, a partir de 28 de maio de 2012, pela Lei 12.561 e a MP 571/12, constituindo o novo Código Florestal. Este trata de desmatamento, exploração e conservação de vegetação nativa, entre outras coisas. Na prática, o antigo código possuía elementos que dificultavam a aplicação da lei e a tornava complexa e desconectada da realidade. A indistinta criminalização de todos os produtores, sem separar quem abriu áreas de acordo com a lei da época, dado que a lei foi mudando ao longo dos anos, era o grande obstáculo para a regularização das propriedades presente no antigo código. No entanto, apesar de controversas, alguns autores afirmam que o impacto potencial das alterações do código podem elevar as emissões brasileiras, pois reduzem as exigências

relativas às áreas de preservação permanente e de reserva legal, o que pode gerar um aumento significativo do desmatamento no país (MARTINS, 2010; SILVA, 2010).

Em paralelo, a produção de alimentos é um dos maiores desafios do mundo moderno. Segundo estimativas da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o crescimento da renda dos países em desenvolvimento, em especial os países asiáticos em desenvolvimento, e o processo de urbanização de países como China e Índia, que ainda possuem a maior parte de sua população no meio rural, devem aumentar a demanda de alimentos em 70%, em 2050 (OCDE e FAO, 2011). Além disso, segundo essas organizações, o Brasil é o único país com potencial de crescimento mais rápido, com capacidade de aumentar sua produção agrícola em 40% até 2019.

Ademais, dados mostram que o agronegócio é um setor fundamental da economia brasileira tanto em termos de geração de renda quanto para promoção de divisas. Conforme dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), o setor foi responsável por mais de 22% do PIB do país em 2011, sendo que a agropecuária correspondeu a 28,8% do PIB do agronegócio, a indústria e distribuição responderam por 59,4% e, insumos para agropecuária, 11,8%. Já as exportações do agronegócio, segundo o Ministério da Agricultura representaram 36,9% do total das exportações em 2011, gerando um saldo de R\$ 94,59 bilhões para a balança comercial.

No caso de cessar o desmatamento brasileiro, provavelmente o setor mais atingido será o setor que mais faz uso da área desflorestada, ou seja, a agropecuária. Segundo levantamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a pecuária é o maior responsável pelo desmatamento da Amazônia, ocupando mais de 62% da área desmatada na região (EMBRAPA e INPE, 2011). A pecuária bovina é o uso do solo mais importante em todos Estados da Amazônia, que em geral, tem apresentado crescimento em todos eles, e isso torna a criação de gado a atividade econômica de maior impacto em toda a região (RIVERO *et al.*, 2009).

Quanto ao Cerrado, a expansão da atividade agropecuária pressiona cada vez mais as áreas remanescentes de vegetação nativa. Considerado a última fronteira agrícola do planeta, o Cerrado ocupa 21% do território nacional, e cerca de metade dos dois milhões de quilômetros quadrados originais foram transformados em pastagens plantadas, culturas anuais e outros tipos de uso (KLINK e MACHADO, 2005). Nesse caso, a cultura de soja parece ter papel preponderante, conforme Machado *et al.* (2004), a área ocupada pela cultura da soja tem

crescido muito no Cerrado, o bom momento do mercado atraiu muitos empreendedores para a atividade, e em um período de sete anos (1995-2002) a área de plantio dobrou.

Não menos importante que considerar e tomar medidas para cessar a degradação e impulsionar a preservação ambiental, analisar os impactos econômicos de tais medidas também é bastante relevante para garantir o desenvolvimento econômico e social. No que diz respeito ao controle do desmatamento brasileiro e a consequente redução no avanço da fronteira agrícola, a literatura brasileira sobre os impactos econômicos advindos desse cenário tem se desenvolvido nos últimos anos, mas, no entanto, ainda é incipiente e têm centrado suas atenções predominantemente na esfera regional, municipal ou estadual. Como exemplo, Costa (2009) avaliou os impactos de políticas de contenção do desmatamento na mesorregião Sudeste Paraense utilizando um modelo de matriz de insumo-produto. Já Padilha Júnior (2004) pesquisa as principais consequências sobre a atividade agropecuária diante da efetivação da Reserva Legal no Estado do Paraná.

Como rara exceção, Ferreira Filho e Horridge (2012) investigam como o congelamento da fronteira agrícola brasileira poderia afetar os preços domésticos dos alimentos e as exportações da agricultura, utilizando o modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR. Os resultados obtidos pelos autores mostram que a paralisação do desmatamento aumentaria o preço dos alimentos em 2% no acumulado até 2025 em relação ao cenário base, devido à queda na produção e o aumento dos preços agropecuários, mas diminuiria o PIB brasileiro em apenas 0,5% em 2025, e os salários reais e as exportações reais cairiam em cerca de 1%.

De modo similar, Diniz (2012) analisa os efeitos socioeconômicos causados pelo cumprimento do antigo e do novo Código Florestal a nível nacional. Também foi utilizado para calcular os impactos econômicos o modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR, que permite a simulação para cada estado bem como resultados agregados para o país. O autor conclui que as recentes mudanças no Código Florestal alteram seus impactos sobre a economia, pois se a versão anterior fosse efetivamente cumprida, as perdas em termos de PIB seriam de 0,37%, enquanto que para o novo código essa queda seria de 0,19%, sendo que em ambos os casos, o instrumento das APPs é o maior responsável pelas variações.

Considerando os trabalhos citados anteriormente percebe-se a necessidade de estudos que investiguem de modo mais amplo os impactos da Lei nº 12.187 e suas metas de redução de 80% do desmatamento na Amazônia e de 40% no Cerrado, tanto considerando a análise de indicadores econômicos agregados e impactos sobre a economia do país como um todo, quanto de mudanças no uso da terra, de modo a responder questões tais como: quais os impactos da redução ou completa interrupção do desmatamento no Brasil sobre os setores

econômicos mais dependentes do uso da terra, como a pecuária, e sobre a economia brasileira em geral? Quais seriam os impactos sobre os níveis de preços? Seria possível para o país manter sua posição de grande exportador mundial de alimentos mesmo sem expansão da fronteira agrícola sobre áreas de florestas? A redução do desmatamento no país induziria à expansão da fronteira agrícola sobre florestas tropicais em outras regiões do mundo? Desse modo, tornam-se úteis abordagens mais avançadas em termos de modelagem, que considerem as especificidades brasileiras e a interação com outros países por meio dos mercados globais, permitindo assim verificar se a redução do desmatamento no país leva à expansão da fronteira agrícola em outras regiões do mundo.

Sintetizando, há uma discussão em voga na sociedade sobre como solucionar o desmatamento brasileiro e as consequentes emissões de GEEs, tanto pelo lado do Código Florestal e dos programas em implementação de redução do desmatamento da Amazônia e do Cerrado, quanto pelos compromissos assumidos na COP15. Quais os possíveis impactos econômicos das políticas de limitação do desmatamento para o Brasil, já que o recurso terra será restringido? Uma hipótese é que frear o desmatamento implicaria em menor produção agropecuária, maiores preços dos produtos agropecuários e alimentos, e menor renda.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é estimar os impactos econômicos de políticas restritivas ao desmatamento sobre os setores agropecuário e de alimentos, e a economia nacional. Para esse propósito será utilizado um modelo de equilíbrio geral computável, capaz de considerar as relações entre os diferentes setores da economia e uma ampla gama de distorções de políticas. Pretende-se verificar como essas restrições vão agir sobre diversos aspectos econômicos como o nível de atividade dos setores agropecuários, os níveis de preços dos alimentos, os fluxos comerciais e o produto agregado, de forma a mensurar os custos econômicos de diferentes opções de políticas. Dessa maneira, o estudo pretende orientar a formulação de políticas ambientais e econômicas coordenadas, bem como verificar as consequências de tais políticas. Esse trabalho propiciará esclarecimentos à sociedade sobre as consequências de algumas políticas ambientais propostas pelo governo brasileiro, além de fundamentar as discussões sobre custos e benefícios de tais políticas.

1 Revisão bibliográfica

O propósito da presente revisão bibliográfica é fazer uma revisão histórica do processo de ocupação da Amazônia e do Cerrado e suas consequências sobre o meio ambiente, bem como apresentar estudos que analisam as restrições territoriais no Brasil e seus impactos econômicos. Também são apresentados alguns aspectos teóricos inerentes à discussão da limitação do uso dos recursos naturais e seus efeitos sobre a economia. Por fim, são apresentados estudos sobre políticas e ações de mitigação das mudanças climáticas, considerando os modelos empíricos que investigam os aspectos econômicos relacionados às mudanças no uso da terra.

1.1 Ocupação da terra e desmatamento no Brasil

Nesta subseção será apresentado um breve resumo histórico do processo de ocupação dos dois biomas brasileiros que mais preocupam em termos de riscos de degradação ambiental, a Amazônia e o Cerrado. O propósito da revisão dessa literatura é o de obter um maior entendimento da motivação e dos fatores preponderantes da expansão das áreas de ocupação desses biomas, tanto os que causaram quanto os que atualmente causam consequentes perdas de vegetação nativa.

É importante esclarecer aqui a diferenciação entre os conceitos Bioma Amazônia, Bioma Cerrado e Amazônia Legal. O Bioma Amazônia abrange 49,29% do território brasileiro e a totalidade dos estados do Amazonas, Acre, Amapá, Pará e Roraima, grande parte de Rondônia (98,8%), parte de Mato Grosso (54%), Maranhão (34%) e Tocantins (9%). Já o Bioma Cerrado ocupa o Distrito Federal, grande parte dos estados de Goiás (97%), Maranhão (65%), Mato Grosso do Sul (61%), Minas Gerais (57%) e Tocantins (91%), além de pequenas porções de outros seis estados. Enquanto que, o conceito de Amazônia Legal, que foi criado pelo governo em 1953 para fins de planejamento, compreende 59% do território brasileiro, distribuídos entre os estados do Amazonas, Acre, Amapá, Pará, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins (98%), Maranhão (79%) e Goiás (0,8%). No entanto, devido a esse último conceito, muitos dos dados que se referem à Amazônia, na verdade dizem respeito à Amazônia Legal e com isso, incluem também fatos ocorridos no bioma Cerrado. Portanto,

deve-se ser cuidadoso em contabilizar conjuntamente os dados referentes à Amazônia e o Cerrado, sendo o objetivo das próximas duas subseções apenas o de caracterizar os processos de ocupação do solo dessas regiões.

1.1.1 O caso da Amazônia

Desde a chegada dos portugueses ao Brasil até antes do período militar a ocupação da região amazônica ocorreu em surtos vinculados à valorização momentânea de produtos no mercado externo, seguidos de longos períodos de estagnação (BECKER, 2001). A princípio essas terras eram de direitos dos espanhóis, mas estes não se interessaram em povoar a região. Então, a partir do século XVII, os portugueses tomaram a iniciativa com a construção de fortes e exploração da mão-de-obra indígena e das “drogas do sertão” (especiarias de alto preço no mercado europeu).

Em meados do século XIX, já findo o período das “drogas do sertão” e da escravidão indígena (metade do século XVIII), foi iniciada uma ocupação mais sistemática. Impulsionado pela valorização da borracha extraída da seringueira (chamada na época de “ouro negro”), a região experimentou uma intensa migração de pessoas advindas, principalmente, da região do Nordeste brasileiro (FURTADO, 2007). Mas isso durou até o primeiro decênio do século XX (FURTADO, 2007), pois quando os ingleses conseguiram cultivar seringais na Ásia, o ciclo da borracha amazônica entrou em decadência econômica (SERRA e FERNÁNDEZ, 2004). Contudo, com a restrição ao acesso da borracha asiática durante a Segunda Guerra Mundial, a Amazônia experimentou novamente um novo, porém breve, ciclo da borracha.

Sob o discurso do governo militar “Integrar para não entregar”, a ocupação da Amazônia tomou novas formas e proporções. Nessa época um novo movimento de ocupação foi estimulado por meio de grandes projetos agropecuários, madeireiros e mineradores. Segundo Becker (2001), foi somente no período entre 1966 e 1985 que se deu o planejamento regional efetivo da Amazônia.

Em 1966 foi criada a Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (Sudam), que concedia incentivos fiscais e autorizava créditos para investimentos na indústria e na agricultura. Com o milagre econômico, o ritmo dos investimentos em infraestrutura e dos financiamentos se aceleraram, abrangendo entre outros, a mineração na serra dos Carajás, a construção de rodovias e hidrelétricas (SERRA e FERNÁNDEZ, 2004) e a implantação do

polo tecnológico e industrial da Zona Franca de Manaus. Além disso, com o Plano de Integração Nacional (PIN), o governo Médici deu início aos esforços para conduzir e disciplinar o assentamento de camponeses na Amazônia, usando terras devolutas da região recém-transferidas ao governo federal para fixar parte do excedente populacional do Nordeste (PEREIRA, 1997), ao mesmo tempo em que o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) aumentou o índice de distribuição de terras para fazendeiros.

Segundo Serra e Fernández (2004), a região era considerada pelos governos militares como um meio para se resolver rapidamente problemas tanto econômicos e geopolíticos quanto sociais. Ainda os autores acrescentam que essas estratégias de desenvolvimento adotadas pelos militares geraram impactos sociais e ambientais adversos nas áreas rurais e urbanas da Amazônia, que podem ser sentidas até hoje. Se antes os colonizadores buscavam explorar as riquezas da região, a partir do governo militar a terra foi vista como modo de expansão da agropecuária com a retirada da floresta e dos povos locais.

Prates e Bacha (2011) afirmam que foi ao longo do governo militar que o desmatamento começou a se intensificar na região, chegando a cerca de 10% de área desmatada em meados da década de 1980. Os motivos, segundo os autores, foram justamente à implantação de grandes projetos agropecuários no sul do Pará e no norte do Mato Grosso; as construções das rodovias PA-70, Belém-Brasília e a Transamazônica; e as políticas de assentamento promovidas pelo Incra. Esses fatores estimularam a ocupação da região e criaram um eixo de desmatamento em porções centrais da floresta e ao longo das rodovias, principalmente, em Rondônia, Mato Grosso e Pará (PRATES e BACHA, 2011).

Também para Diniz *et al.* (2009), até 1980 o desmatamento auferido teve uma trajetória que está relacionada a um processo de desbravamento conduzido pelo Estado com projetos de colonização, abertura de estradas e a estruturação da atividade pecuária (estimulada pela conjugação de incentivos fiscais, especulação fundiária e vantagens comparativas locais). No entanto, para estes autores, a partir da década de 1980 o desmatamento, que multiplicou não só sua velocidade como também sua espacialidade, ganhou um caráter espontâneo e inercial movido pela valorização do território ocupado e pela maximização dos lucros privados da exploração dos recursos naturais, em especial pelas atividades pecuária e madeireira. Wiebelt (1995) afirma que na década de 1980 a contribuição setorial para o desmatamento da Amazônia se deu em maior grau pela criação de gado, seguido pela agricultura de pequena escala, e em menor grau pela exploração madeireira – em que esta é, praticamente, um subproduto do desmatamento para propósitos agrícolas.

Margulis (2004) fez um estudo minucioso sobre o desmatamento da Amazônia do início da década de 1970 até início da década de 2000, por meio de uma análise econométrica e descritiva dos dados. Seus resultados mostram que nesse período a pecuária foi a principal fonte dos desmatamentos e sua expansão seguiu um processo contínuo e de caráter inercial, e sem previsão de reversão no curto prazo, mesmo com nenhum subsídio do governo, sendo os médios e grandes agentes os principais responsáveis pelos desmatamentos. Além disso, ressalta que o processo final de ocupação se dá pela pecuária, independente de quais sejam os agentes originais. Isso porque, se ela não fosse financeiramente viável, a extração de madeira e a abertura de estradas não resultariam em conversão de florestas, já que os agentes iniciais sequer cobririam seus custos de ocupação, desmatamento e preparo do solo. Ele ressalta que a combinação de alta rentabilidade da pecuária estrita (em torno de 10% para grandes e capitalizados pecuaristas, diferentemente do restante do país) com custos de transportes viáveis é que levam aos desmatamentos e não as rodovias por si mesmas. Pois tendo condições geo-ecológicas e viabilidade, os próprios pecuaristas constroem as estradas. E no caso da agricultura, as barreiras geo-ecológicas, como a pluviosidade, impedem que ela compita com a pecuária nas regiões de floresta.

Barreto, Pereira e Arima (2008) estimam que, do crescimento de 147 milhões de cabeças do rebanho bovino brasileiro para 206 milhões entre 1990 e 2006, 80% ocorreu na Amazônia Legal, saltando de 18% do total nacional para 36%. Com isso, acreditam que para avaliar ações de redução do desmatamento, é importante entender como os fazendeiros têm elevado o rebanho na região amazônica. Calculam, usando dados do INPE, que dos 30,6 milhões de hectares (ha) de terras desmatadas na região entre 1990 e 2006, aproximadamente, 25,3 milhões de hectares foram ocupados por pastos. Com uma análise de regressão mostram que 73,4% da variação da área desmatada ao ano entre 1995 e 2007 derivou da variação do índice de preço do boi gordo no ano anterior.

Outro fator apontado por Barreto, Pereira e Arima (2008), que estimularam os desmatamentos, foram os subsídios financeiros públicos para a pecuária fornecido pelo Fundo Constitucional do Norte (FNO), mesmo que de forma indireta. Isso porque um fazendeiro podia desmatar novas áreas sem empréstimos, pois sabia que receberia bons retornos usando empréstimos subsidiado para comprar o rebanho. No período de 2003 a 2007, o pico de empréstimos ocorreu em 2004, mesmo ano em que os desmatamentos foram recordes. Também pode ser vista como um tipo de subsídio, a apropriação de terras públicas, que em 2003 somava 42 milhões de hectares (áreas de posses ilegais sem documentos). Além disso, parte do crescimento da pecuária na Amazônia se deve ao aumento da produtividade

resultante de novos desmatamentos, uma vez que os pastos novos podem ter até o dobro da lotação dos pastos antigos não renovados. E por fim, o controle da febre aftosa, que foi um dos fatores mais importantes para que se pudessem aumentar as exportações de carne bovina tanto do Brasil quanto da Amazônia e, conseqüentemente, a produção.

De fato, a pecuária é o uso do solo predominante nas áreas desmatadas da Amazônia, conforme podemos verificar no último levantamento da Embrapa e do INPE usando imagens de 2008, apresentado na Tabela 2. Dos 719 mil km² de área desmatada, 447 mil km² corresponde a áreas de pastagens, distribuídos em 335 mil km² de pasto limpo, em que predomina a vegetação herbácea e gramínea entre 90% e 100%; 62 mil km² de pasto sujo, onde prevalece a vegetação herbácea e gramínea entre 50% e 80% associada à vegetação arbustiva; 48 mil km² de regeneração com pasto, áreas em que após alguma atividade agropastoril, iniciaram um processo de regeneração da vegetação nativa com predomínio de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas; e 594 km² de pasto com solo exposto, áreas que após alguma atividade agropastoril tem pelo menos 50% de solo exposto. Já a agricultura ocupa quase 35 mil km² das áreas desmatadas, correspondendo a 4,9% do total.

Tabela 2 – Classes de uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia

Classe	Total (km²)	Frequência
Pasto Limpo	335.714,94	46,7%
Vegetação Secundária	150.815,31	21,0%
Pasto Sujo	62.823,75	8,7%
Regeneração com Pasto	48.027,37	6,7%
Área Não Observada	45.406,27	6,3%
Agricultura Anual	34.927, 24	4,9%
Mosaico de Ocupações	24.416,57	3,4%
Área Urbana	3.818,14	0,5%
Mineração	730,68	0,1%
Pasto com Solo Exposto	594,19	0,1%
Outros	477,88	0,1%
Desflorestamento	11.458, 64	1,6%
TOTAL	719.210,99	100%

Fonte: Embrapa e Inpe, 2011.

1.1.2 O caso do Cerrado

As primeiras expedições dos portugueses à região do Cerrado aconteceram no final do século XVI, motivadas pela busca de pedras e metais preciosos e pelo apresamento de índios para trabalhar nos engenhos de açúcar na região Nordeste. No entanto, as descobertas de ouro só foram ocorrer a partir do final do século XVII, inicialmente, em Minas Gerais e depois em Goiás e Mato Grosso, dando início a uma real ocupação da região do Cerrado. A mineração motivou a imigração de 450 mil portugueses para o Brasil, no decorrer do século XVIII (DEAN, 1996), e estimulou a formação de fazendas com produção significativa no interior, para atender às regiões mineradoras (BERTRAN, 1994). A partir da segunda metade do século XVIII, a extinção aurífera e a conseqüente decadência econômica já eram iminentes. Devido a isso, em algumas regiões permaneceu apenas uma população reduzida e dispersa, reduzindo o mercado consumidor e caracterizando uma economia de subsistência com posse primitiva da terra (BERTRAN, 1994).

Com a decadência da mineração, a atividade pecuária passou a ganhar destaque, sendo a ocupação econômica predominante até a década de 1950, porém, de importância inexpressiva. Durante os séculos XVIII, XIX e primeira metade do século XX, a região foi marcada pela atividade de mineração (ouro e diamante), vegetal (drogas do sertão) e animal (caça e pesca) e criação extensiva de gado em pastagens nativas (DIAS, 2008). Segundo Ganem *et al.* (2008), da época colonial até a década de 1940, na região do Cerrado predominou um sistema de produção alimentar com base no trabalho familiar, voltado para a produção de grãos e a pecuária extensiva, coexistindo a grande propriedade com as pequenas unidades de subsistência.

No entanto, foi apenas a partir da década de 1950, com o surgimento de Brasília e de uma política de expansão agrícola do governo, que se deu início a um processo de ocupação acelerado e desordenado do Cerrado. A região passou a receber grandes investimentos na construção de Brasília e de rodovias que a uniam ao restante do país, assim como a imigração de grandes contingentes populacionais. Já durante o governo militar foram adotadas políticas regionais como estratégia de planejamento e desenvolvimento, sendo criada em 1967 a Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), que pesquisava e definia o potencial econômico da região e as áreas apropriadas para a instalação de polos de crescimento.

Apesar de a ocupação urbana ter tido grande expansão na região do Cerrado, causando importantes impactos ambientais, foi à expansão da atividade agropecuária que mais causou impactos ambientais e alteração nas paisagens da região. O período do final da década 1960 até o final da década de 1970 foi marcado, entre outras coisas, pela euforia da modernização

agrícola no país. Os fatores fundamentais foram a criação do crédito agrícola subsidiado e vinculado às tecnologias recomendadas, o desenvolvimento das indústrias fornecedoras de insumos agrícolas e daquelas processadoras de alimentos (GANEM *et al.*, 2008).

Em princípios da década de 1970, a região do Cerrado atraiu a atenção dos governos devido às suas características topográficas, que facilitavam a mecanização agrícola, aos avanços nas tecnologias de plantio, em especial, a de correção do solo, à abundância de recursos hídricos e à proximidade com os centros consumidores. Na visão do governo militar, o Cerrado tornava possível a implantação de uma agricultura moderna, altamente competitiva e voltada para a produção de commodities agrícolas, e sua expansão estaria em conformidade com a política desenvolvimentista, pois colaboraria com o crescimento do setor industrial vinculado à produção de máquinas e insumos agrícolas (SANTOS, 2010). Então, no decorrer da década de 1970 foram implantados alguns projetos de colonização agrícola da região do Cerrado.

Em 1973 foi implantado o Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAR), que constituiu o primeiro projeto de colonização do Cerrado, mas que teve os investimentos concentrados em apenas uma única área. Diferentemente, o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO – 1975/1979) criado em 1975, abrangeu áreas dispersas pelos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso do Sul, proporcionando aos produtores rurais linhas privilegiadas de crédito e apoio técnico (SANTOS, 2010). Ante ao processo de expansão da fronteira agrícola, o interesse internacional pela região cresceu e o Japão foi um dos primeiros países a investir capitais no Cerrado, resultando na criação do Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PROCEDER), implantado a partir de 1978.

De um modo geral, pode-se dizer que a presença do governo foi intensa e decisiva no processo de ocupação da região do Cerrado, seja pela política de crédito agrícola subsidiado, assistência técnica e pesquisa, com atuação destacada da EMBRAPA, quanto pela política de preços mínimos e desapropriação de terras. Contudo, a partir da década de 1980, a presença do Estado nesse processo foi reduzida, apenas mantendo atuação no financiamento de pesquisa, na implantação de infraestrutura e no provimento de assistência técnica. Assim, o setor privado passou a ser o agente das políticas agrícolas, sendo um importante financiador tanto de máquinas e implementos, fertilizantes e defensivos quanto pela aquisição antecipada da produção por parte da indústria (WEHRMANN, 1999, *apud* GANEM *et al.*, 2008, p.11). Dessa forma, a partir dos anos 80, intensificou-se a agricultura empresarial moderna.

Como consequência dessa intensa ocupação do Cerrado desencadeou-se um preocupante processo de degradação ambiental, que tem transformado consideravelmente o patrimônio

natural da região. Os principais impactos ambientais foram: desmatamento excessivo, fragmentação de habitats, redução da biodiversidade, extinção de espécies nativas, compactação e erosão dos solos, contaminação dos solos e águas tanto superficiais quanto profundas, assoreamento de rios, dentre outros danos ambientais. Cunha *et al.* (2008) afirma que, com o propósito de atender, principalmente, o mercado externo, foi adotado no Cerrado um modelo de ocupação do espaço e de produção desenvolvido nos países industrializados, que favorece a produção em larga escala, intensiva em tecnologia, mas deixando de lado os impactos ambientais.

Cunha *et al.* (2008) acrescenta que, ainda hoje se constituem como principais ameaças à biodiversidade do Cerrado, a expansão da agricultura e da pecuária, que de modo geral, tem sido efetivada mediante a conversão de áreas com a consequente perda de vegetação originária. Estimativas de Klink e Moreira (2002) apontam que no período de 1970 a 1995/96, as áreas utilizadas com lavouras aumentaram em 250%, já as ocupadas com pastagens cultivadas subiram 520%, e as áreas limpas, porém não utilizadas para cultivos ou abandonadas, cresceram em 150%. Conforme trabalhos de campo de Rocha *et al.* (2011), os desmatamentos ocorridos entre 2002 e 2009 no Mato Grosso, oeste baiano e sudoeste goiano estão relacionados à agricultura, já no norte goiano estão ligados à pecuária, produção de carvão e extração mineral.

Além disso, o aumento da produção agrícola na região tem advindo de aumentos da produtividade, sendo praticada pelo uso intensivo de fertilizantes, agrotóxicos e calcário, pesada mecanização, irrigação sem controle, monocultura e cultura em grande escala (e consequente, utilização de grandes áreas cultivadas). A combinação de uso intensivo da mecanização, fertilizantes e agrotóxicos, compromete a cobertura dos solos, as bacias hidrográficas e demais ecossistemas (CUNHA *et al.*, 2008). Para a formação de pastagens, as terras são primeiramente limpas e queimadas, causando a liberação de grandes quantidades de CO₂ na atmosfera, e depois semeadas com gramíneas africanas. Conforme Klink e Machado (2005), o amplo uso de gramíneas africanas é prejudicial à biodiversidade, aos ciclos de queimadas e à capacidade produtiva dos ecossistemas.

Com base nos dados do último relatório do Portalbio do Ministério do Meio Ambiente (imagens de 2002), o Cerrado ocupava uma área de 2.047.146 km². Desse total, 751.923 km² são de vegetação nativa florestal (36,73%), 484.827 são de vegetação nativa não-florestal (23,68%), 797.991 são de áreas antrópicas (38,98%) e 12.383 (0,6%) de águas. Então, cerca de 40% do bioma já foram inteiramente desmatados e convertidos para usos antrópicos como agricultura, pastagem plantada, reflorestamentos, áreas urbanas e áreas degradadas. Já os

outros aproximadamente 60% de áreas cobertas por vegetação não representam 60% de áreas bem conservadas, pois inclui vegetação secundária e vegetação utilizada com pastagem extensiva sujeita a sobrepastejo, submetida a queimadas de alta frequência, a remoção de lenha para a produção de carvão vegetal e outros usos não sustentáveis (DIAS, 2008).

Diante do que foi apresentando nesta subseção, percebe-se que o processo de remoção da vegetação natural, tanto do bioma Amazônia quanto do Cerrado, esteve e ainda permanece relacionado à expansão da agropecuária e da fronteira agrícola brasileira. Portanto, a limitação do processo de desmatamento pode ter consequências negativas sobre a trajetória de aumento da produção agropecuária no país, se não for acompanhada de aumento em produtividade e melhor aproveitamento das áreas já abertas para a atividade.

1.2 Restrições territoriais no Brasil e suas implicações econômicas

As restrições territoriais no país estão relacionadas a um processo que culminou em uma série de medidas legais que limitam ou impedem a possibilidade de remoção da vegetação natural, algumas vezes exigindo a recomposição e o fim das atividades agrícolas, e destinando áreas à proteção ambiental e ao uso exclusivo de algumas populações indígenas. Dado isso, alguns estudos emergiram para analisar as consequências dessas restrições territoriais impostas pela lei.

Como exemplo, Miranda *et al.* (2008) apresenta o trabalho realizado pela Embrapa Monitoramento por Satélite, baseado em dados de satélites, informações cartográficas digitais de vários institutos e banco de dados, que estimou e mapeou por meio de modelos de geoprocessamento o alcance territorial da legislação ambiental, indígena e outras em todo o território brasileiro. Os resultados globais para regras regidas até 2008 mostram que cerca de 30% do território é legalmente destinado às atividades agrícolas intensivas, industriais-urbanas e energético-mineradoras. Sob a hipótese de que as APPs possam ser computadas na Reserva Legal (RL) sem condicionamentos, somando apenas as áreas de RL, Unidades de Conservação e as terras indígenas, a disponibilidade de terras aumentaria para 41% do território.

No entanto, a pesquisa de Sparovek *et al.* (2011) aponta que as áreas utilizadas apenas pela agropecuária ultrapassam 30% do território brasileiro. Segundo os autores, que utilizaram um mapeamento georeferenciado a partir de uma ampla base de dados e o cruzamento de

informações, no âmbito do projeto AgLue (*Agricultural Land Use and Expansion Model*), a agropecuária ocupa 275 milhões de hectares de terras, o que equivale a 32% do território, sendo a maior parte utilizada com pastagens, 211 milhões de hectares. A vegetação natural ocupa 63% do território nacional. No âmbito da antiga legislação ambiental, os autores concluíram que seriam necessários 236 milhões de hectares para as exigências de Reserva Legal e 100 milhões de hectares para o atendimento das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Assim, considerando que parte desse montante pode ser compensada pela vegetação natural já existente, o déficit que teria que ser compensado é de 42 milhões de hectares para áreas de RL e 43 milhões de hectares para as APPs.

No que diz respeito ao novo Código Florestal, o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada (IPEA), em comunicado divulgado em junho de 2011, apresentou suas estimativas para os passivos de Reserva Legal que seriam dispensados de recuperação pela aprovação do PL nº 1879/99 (projeto de lei que retomou as discussões de alterações no antigo Código Florestal) e de outros cenários discutidos (IPEA, 2011). Segundo o documento, com base no cadastro de imóveis rurais do INCRA de 2010, o Brasil possui uma área total de imóveis rurais de 571,7 milhões de hectares, que pelo antigo código, toda essa área compõe a base de cálculo para as áreas de RL. Porém, como no PL 1.876/99, os percentuais estabelecidos para cada tipo de vegetação continuam os mesmos, mas a isenção de recuperação dos passivos de RL depende do tamanho do imóvel rural, isto significa que 135,7 milhões de hectares (correspondente à área dos imóveis rurais de até quatro módulos fiscais) deixarão de compor a base de cálculo para recuperação de RL. Então, 29,6 milhões de hectares deixariam de ser recuperadas. Caso seja considerada a isenção em quatro módulos para todas as propriedades, a área isenta gira em torno de 48 milhões de hectares, servindo de base cálculo para RL apenas 220,6 milhões de hectares, 39% da área total dos imóveis.

Não obstante, no âmbito das pesquisas de caráter socioeconômico, análises dos impactos econômicos do cumprimento das restrições territoriais têm centrado suas atenções predominantemente na esfera regional, municipal ou estadual ou sobre os efeitos do cumprimento isolado das APPs ou da Reserva Legal.

Costa (2009), por exemplo, avaliou os impactos de políticas de contenção do desmatamento na mesorregião Sudeste Paraense, no estado do Pará. Isto foi feito utilizando um modelo ascendente de geração de matrizes de insumo-produto para economias locais de base primária, que incorpora um balanço de carbono dos setores da produção rural, inclui a produção mineral e desdobramentos industriais e comerciais, e regionais e nacionais. Os resultados obtidos mostram que esquemas de compensação centrados nos agentes e focados em redução da

produção geram perdas sistemáticas para a economia local como desemprego, redução da taxa de lucro e redução da massa de impostos.

Padilha Júnior (2004) investiga as principais consequências sobre a atividade agropecuária diante da efetivação da Reserva Legal no Estado do Paraná. Os resultados obtidos por meio da utilização de modelos de programação quadrática apontam que é necessária uma redução de 3,2 milhões de hectares nas áreas de produção rural para atender a exigência de Reserva Legal no estado. Em termos monetários, afirma que isso representa uma perda de receita total média de R\$ 3,93 bilhões por ano, considerando um valor bruto da produção (VBP) médio real de R\$ 1.293,96 por hectare. Mas ressalta que, ao calcular o valor presente da perpetuidade do VBP a uma taxa de desconto de 6% ao ano, esse valor pode chegar a R\$ 65,5 bilhões. Somados ao investimento na aquisição e melhoria das áreas que pertencerão à Reserva Legal, estimado em R\$ 22,4 bilhões, o impacto econômico total sobre a agropecuária do Paraná seria de aproximadamente R\$ 90 bilhões.

Como rara exceção, Diniz (2012) analisa os efeitos socioeconômicos causados pelo cumprimento do antigo e do novo Código Florestal a nível nacional. Para tal, compatibiliza os dados do Censo Agropecuário de 2006 com a base de dados do projeto *AgLue (Agricultural Land Use and Expansion Model)* de déficits de APPs e Reserva Legal, para obter uma matriz contendo o percentual que cada cultura agropecuária deveria reduzir de sua área para adequar-se à legislação. O modelo utilizado para calcular os impactos econômicos foi o modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR, que permite a simulação para cada estado bem como resultados agregados para o país. Mais especificamente, consiste de 27 modelos interdependentes (um para cada unidade da federação), interligados por meio dos mercados de produtos e fatores. Além disso, se trata de um modelo estático, no qual os resultados expressam apenas o ajuste da economia aos choques. O autor conclui que as recentes mudanças do Código Florestal alteram seus impactos sobre a economia, pois se a versão anterior fosse efetivamente cumprida, as perdas em termos de PIB seriam de 0,37%, enquanto que para o novo código essa diminuição seria de 0,19%, sendo que em ambos os casos, o instrumento das APPs é o maior responsável pelas variações.

De modo similar, Ferreira Filho e Horridge (2012) investigam como o congelamento da fronteira agrícola brasileira, em função das novas regulamentações ambientais, poderia afetar os preços domésticos dos alimentos e as exportações da agricultura. A metodologia de estudo utilizada também foi a de equilíbrio geral computável, TERM-BR, com simulações reportadas para 15 regiões agregadas brasileiras e dois cenários, um de base que assume que a oferta de terras agrícolas é endógena nas regiões de fronteira, e o outro de política, na qual a oferta de

terra é fixa em todas as regiões. Os resultados obtidos pelos autores mostram que a paralisação do desmatamento aumentaria o preço dos alimentos em 2% no acumulado até 2025 em relação ao cenário base, devido à queda na produção e o aumento dos preços agropecuários, mas diminuiria o PIB brasileiro em apenas 0,5% em 2025, e os salários reais e as exportações reais cairiam em cerca de 1%. Os autores concluem que esses efeitos sobre a economia brasileira não são expressivos porque no Brasil uma vasta fronteira intensiva na forma de pastagens ainda está disponível.

Em suma, nota-se que a literatura brasileira sobre os impactos econômicos de medidas de redução no avanço da fronteira agrícola tem se desenvolvido nos últimos anos, apesar de ser ainda incipiente. Assim, percebe-se a necessidade de estudos que investiguem de modo mais amplo os impactos que a legislação e as medidas de contenção do desmatamento causariam ao país, tanto considerando a análise de indicadores econômicos agregados e impactos sobre a economia do país como um todo, quanto analisando de forma mais refinada o que tem sido legislado sobre o assunto. Além disso, tornam-se úteis abordagens mais avançadas em termos de modelagem, que considerem as especificidades brasileiras e a interação com outros países por meio dos mercados globais, permitindo assim verificar se a redução do desmatamento no país induz a expansão da fronteira agrícola em outras regiões do mundo.

1.3 Aspectos teóricos

De um ponto de vista macroeconômico e de longo prazo, com a intensificação do debate sobre a sustentabilidade do sistema econômico em face da exaustão dos recursos naturais, passou-se a questionar a funcionalidade dos modelos tradicionais de crescimento econômico. Isto porque, nesses modelos, os recursos naturais não aparecem em suas representações analíticas, como na especificação da função de produção. No modelo neoclássico pioneiro de crescimento econômico, desenvolvido por Robert Merton Solow e Trevor Winchester Swan em 1956, a função de produção toma a forma representada na equação (01),

$$Y = F(K, AL) \tag{01}$$

na qual o produto é função dos fatores de produção, capital físico K , trabalho L e conhecimento A . Neste modelo, assumindo uma série de hipóteses e fazendo as derivações

necessárias, obtêm-se que o produto por trabalhador (Y/L) no estado estacionário cresce a mesma taxa de crescimento do conhecimento (ou da tecnologia), g^1 .

Com as crescentes evidências empíricas que atestam a veracidade das alterações ambientais decorrentes das intervenções humanas, começaram a ser incluído nas representações da função de produção o fator “recursos naturais”. No entanto, para a corrente neoclássica que se preocupa com o tema, comumente denominada de Economia Ambiental e Economia dos Recursos Naturais, não há limites impostos à disponibilidade de recursos naturais, podendo este ser perfeitamente substituído por outros fatores de produção (visão conhecida como “sustentabilidade fraca”). Na representação neoclássica apresentada em Romer (2006) como uma extensão do modelo de Solow-Swan, o produto passa a ser definido como função do capital físico K , do trabalho L , do conhecimento A , do montante de terra T e dos recursos naturais usados na produção R , como apresentado na equação (02),

$$Y = F(K, T, R, AL). \quad (02)$$

Como a quantidade de terra é fixa, no longo prazo a quantidade utilizada na produção não pode ser crescente (equação 03),

$$\dot{T} = 0. \quad (03)$$

De modo similar, com dotação fixa dos recursos naturais, seu uso deve ser declinante, embora historicamente, ele tenha aumentado, como na relação (04),

$$\dot{R} = -bR, b > 0. \quad (04)$$

Usando essas duas hipóteses e as demais do modelo básico, e fazendo as derivações necessárias², tem-se que o produto por trabalhador no estado estacionário é dado pela equação (05),

$$g_{Y/L}^{RT} = \frac{(1 - \alpha - \beta - \gamma)g - \beta b - (\beta + \gamma)n}{1 - \alpha}, \alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \alpha + \beta + \gamma < 1 \quad (05)$$

em que α , β , γ e $(1 - \alpha - \beta - \gamma)$ são respectivamente, a parcela da renda que é gasta com capital físico, recursos naturais, terra e trabalho efetivo (AL), e n é a taxa de crescimento da população. Essa equação mostra que o crescimento do produto por trabalhador pode ser negativo ou positivo, isso porque as limitações da terra e dos recursos naturais podem levar a uma diminuição do produto por trabalhador. Com isso, podemos inferir que uma regra na qual se reduza ainda mais o montante de terra disponível para a produção, pode ter efeitos negativos sobre a economia.

¹ Para maiores detalhes, consultar Romer (2006).

² Para maiores detalhes, consultar Romer (2006)

Entretanto, na visão neoclássica, se o estímulo advindo do progresso tecnológico for maior que o entrave causado pela limitação dos recursos naturais e da terra, é possível sustentar o crescimento da renda por trabalhador. Considerando uma elasticidade de substituição entre os insumos igual a um, é possível a substituição ilimitada dos fatores que se tornam escassos por fatores abundantes. Em outras palavras, é como se a economia fosse capaz de se mover moderadamente de uma base de recursos para outra, conforme cada uma é esgotada, sendo o progresso tecnológico a variável chave para assegurar que esse processo não comprometa o crescimento de longo prazo (ROMEIRO, 2001).

Os mecanismos por meio dos quais se permite essa superação indefinida da limitação dos recursos ambientais ao crescimento econômico são, principalmente, mecanismos de mercado. No caso dos bens ambientais que possuem direitos de propriedades bem definidos e que, portanto, podem ser transacionados no mercado, a sua crescente escassez levaria à elevação do seu preço, induzindo a introdução de inovações que possibilitem poupá-lo, trocando-o por um bem mais abundante (ROMEIRO, 2001). Segundo Romer (2006), os mercados fornecem sinais de como esses bens devem ser usados, e quando as evidências indicam que um bem terá oferta limitada no futuro, os próprios produtores aumentaram o seu preço hoje, incentivando os consumidores a conservá-lo já no período corrente.

Já os bens que não possuem direitos de propriedades bem definidos, ou seja, que não podem ser transacionado no mercado (caracterizados de bens públicos), esse mecanismo de mercado falha. Tais bens possuem uma característica peculiar de, em geral, gerar externalidades a partir de seu consumo, que são impactos que afetam outros agentes, em outros mercados, e não são considerados no preço de mercado do bem em questão. Com isso, se faz necessário uma intervenção para que a disposição a pagar por esses bens (ou serviços) ambientais se altere na medida em que sua escassez aumenta. As soluções consideradas ideais para que os mecanismos de mercado funcionem livremente são: a eliminação da natureza pública desses bens por meio da definição de direitos de propriedade sobre eles, conforme sugerido por Coase (1960), e a valoração econômica do uso e das externalidades gerados por esses bens que são convertidas sob a forma de taxas impostas pelo governo.

Para a corrente de pensamento alternativo à visão neoclássica, conhecida como Economia Ecológica³, os pressupostos assumidos por estes ignoram o fato de que os impactos ambientais evoluem de forma imprevisível por causa de efeitos sinérgicos e defasados (ROMEIRO, 2001). Embora compartilhem da ideia de que o progresso científico e

³ Para mais informações sobre Economia Ambiental e Economia Ecológica, consultar May (2010), Romeiro (2001) e Daly e Farley (2004).

tecnológico é capaz de aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais, não concordam que a sustentabilidade do sistema econômico não seja limitada pela capacidade de carga da Terra, chamada de visão da “sustentabilidade forte”. Além disso, eles questionam que, para os bens ambientais transacionados no mercado, os preços são capazes de sinalizar o estoque total do bem, sua própria demanda, assim como o curso futuro do avanço tecnológico.

Independente da corrente de pensamento (neoclássica ou da economia ecológica), a restrição à expansão da área agropecuária pode trazer impactos econômicos por limitar o uso do recurso terra para a produção. Em ambas correntes, a substituição do fator terra devido à limitação do desmatamento deve impor maiores custos à produção agropecuária.

Por meio de um método simplificado de análise microeconômica de equilíbrio parcial - uma representação de equilíbrio entre oferta e demanda - pode-se ilustrar o que ocorre com a quantidade e o preço de produtos agropecuários⁴, a partir de uma restrição na disponibilidade de um dos fatores de produção, no caso a terra. Considerando um mercado em competição perfeita, no qual compradores e vendedores são tomadores de preço, a curva de demanda de um bem é o resultado da maximização da utilidade sobre todos os bens, sujeitos a uma restrição orçamentária. Enquanto a curva de oferta desse bem é o resultado da maximização dos lucros sujeito ao preço de venda do bem, às possibilidades tecnológicas e aos preços dos insumos usados na produção.

Na medida em que a limitação ao desmatamento torna o fator terra escasso para a produção, o preço desse insumo tende a aumentar. A curva de oferta se desloca para cima, por causa do aumento do custo marginal de produção, e isto faz com que o preço dos produtos agropecuários se eleve em cada unidade, conforme ilustrado no Gráfico 1. No novo ponto de equilíbrio de mercado, o preço aumenta de P^1 para P^2 , e a quantidade diminui de Q^1 para Q^2 , sendo a curva de demanda representada pela curva D , a de oferta inicial pela curva O^1 e a de oferta final pela curva O^2 .

⁴ Conforme verificado no capítulo anterior, o setor agropecuário é o maior responsável pelos desmatamentos no Brasil, e com isso, pode ser afetado diretamente por uma política de restrição ao desmatamento.

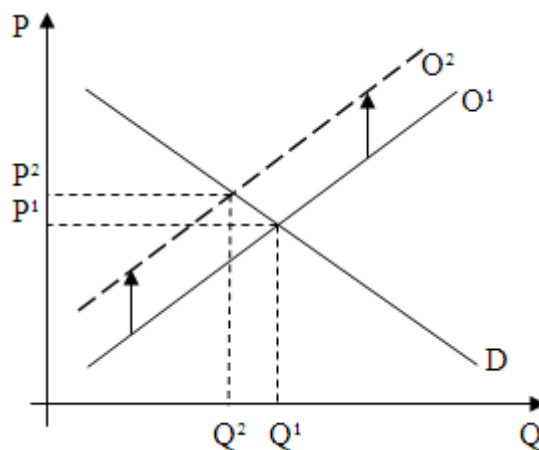


Gráfico 1 – Equilíbrio de mercado

Tal cenário de aumento de preço e queda na produção pode ser minimizado no Brasil caso haja disponibilidade de terras já desmatadas, porém subutilizadas, que possibilitem acomodar o crescimento da agropecuária nos próximos anos a baixos custos de intensificação. Considerando a existência de grandes áreas de vegetação secundária e de áreas de pastagens mal utilizadas ou subutilizadas no país, é possível que a restrição ao desmatamento estimule o uso mais eficiente das mesmas e que isso seja suficiente para que a agropecuária não necessite avançar sobre as áreas de vegetação nativa. Neste caso, os efeitos de políticas de controle do desmatamento podem ter efeitos pífios sobre a economia brasileira.

1.4 Modelos econômicos, políticas climáticas e mudanças no uso da terra

Conforme as discussões sobre as mudanças climáticas foram ganhando destaque e com elas as políticas de mitigação de tais efeitos, muitos modelos econômicos de avaliação dessas políticas foram sendo desenvolvidos ao longo das duas últimas décadas, que levam em conta a economia de diferentes países e costumam caracterizar em certo grau de detalhamento, as tecnologias energéticas e demais processos geradores de emissões de regiões específicas do planeta. Entre eles, podem ser destacados os modelos WW (WHALLEY; WIGLE, 1991), GREEN (BURNIAUX *et al.*, 1992) DICE (NORDHAUS, 1992), CRTM (RUTHERFORD, 1992), RICE (NORDHAUS; YANG, 1996), MS-MRT (BERNSTEIN; MONTGOMERY; RUTHERFORD, 1999), GTAP-E (BURNIAUX; TRUONG, 2002) MERGE (RICHELIS; MANNE; WIGLEY, 2007), ENTICE (POPP, 2004), WITCH (BOSETTI *et al.*, 2006) e EPPA (PALTSEV *et al.*, 2005; BABIKER *et al.*, 2008).

Tais modelos são utilizados para avaliar as mais diversas políticas e medidas para redução de emissões de gases de efeito estufa, como os impactos do Protocolo de Quioto sobre a economia europeia (VIGUIER *et al.*, 2003), japonesa (PALTSEV *et al.*, 2004) e dos países em desenvolvimento (BABIKER; REILLY; JACOBY, 2000). Também são aplicados para analisar propostas de restrições quantitativas e impostos às emissões de carbono em países e regiões como EUA (PALTSEV *et al.*, 2008, 2009; METCALF *et al.*, 2008), Japão (KASAHARA *et al.*, 2007) e União Europeia (REILLY; PALTSEV, 2006); os impactos dos compromissos assumidos pela China para redução de emissões de GEEs (PALTSEV *et al.*, 2012) e pelo Brasil (SILVA; GURGEL, 2012); e os efeitos distributivos das políticas climáticas, caso sejam adotadas ao mesmo tempo por vários países do mundo (BABIKER; JACOBY, 1999; BABIKER; ECKAUS, 2002; JACOBY *et al.*, 1997; 2009). Outros trabalhos investigam questões como os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura (REILLY *et al.*, 2007); o uso da terra como sumidouro de carbono e suas consequências sobre a agricultura a partir de tal ação (REILLY *et al.*, 2012); o papel dos diferentes tipos de gases de efeito estufa e sumidouros de carbono nas discussões de políticas (MANNE; RICHELIS, 2004; REILLY *et al.*, 2006); a relevância dos biocombustíveis na redução das emissões de GEEs (GURGEL; REILLY; PALTSEV, 2007; MELILLO *et al.* 2009); e a importância dos avanços tecnológicos e da pesquisa e desenvolvimento na avaliação das políticas de redução de GEEs (BOSETTI; TAVONI, 2009).

Quanto às mudanças no uso da terra, objeto de interesse desse trabalho, sua incorporação completa em modelos econômicos é relativamente mais recente (Ianchovichina *et al.*, 2001; Ahammad e Mi, 2005; Golub *et al.*, 2006; Gurgel *et al.*, 2007), que no princípio careciam de uma formalidade teórica. Eickhout *et al.* (2008), por exemplo, consideram a possibilidade de transformação de áreas sob vegetação natural em terra agrícola, considerando funções de oferta do fator terra, em que a renda da terra é proporcional à produtividade da mesma. Alternativamente, Gouel e Hertel (2006) e Golub *et al.* (2008) representam a possibilidade de conversão de áreas naturais em terra agrícola se o valor presente dos retornos do fator terra forem suficientes para cobrir os custos de acessar novas áreas, incluindo a necessidade de construir estradas e infraestrutura e custos de ajustamento no curto prazo que aumentam à medida que as taxas de conversão de áreas naturais em agrícolas expandem.

Boa parte da modelagem para representar mudanças no uso da terra foi desenvolvida para estudar os impactos dos biocombustíveis em larga escala como tecnologia para reduzir emissões de gases de efeito estufa. Reilly e Paltsev (2007) estimaram o potencial de produção de bioenergia para os próximos 50 anos, a partir do desenvolvimento de tecnologias de

biomassa celulósica, usando um modelo de equilíbrio geral computável (EGC). Porém, sua abordagem não leva em conta explicitamente a concorrência entre os diferentes usos da terra, seguindo apenas uma abordagem padrão para a contabilidade de insumos no modelo de EGC, na qual a quantidade de terra disponível é representada pelo valor total de aluguel da terra.

A alteração do insumo tratado apenas como “terra” para múltiplas classes de terras requer que a modelagem seja abordada de modo a representar a capacidade de mudar de uma categoria de uso da terra em outra. Nesse quesito, vários trabalhos têm representado a concorrência entre as diferentes categorias de uso da terra, como em Ianchovichina *et al.* (2001), Ahammad e Mi (2005) e Golub *et al.* (2006). Nesses estudos, a alocação de terras entre os diferentes usos têm sido representada por uma função com elasticidade constante de transformação (*Constant Elasticity of Transformation – CET*).

No entanto, segundo Gurgel *et al.* (2007), tal abordagem pode ser útil para análises de curto prazo em que existem dados sobre a elasticidade aparente de substituição, pois suas propriedades garantem que mudanças radicais no uso da terra não ocorram em período de tempo pequeno, fazendo as projeções mais realistas. Mas no longo prazo, no qual a demanda para alguns usos poderia expandir substancialmente, como parece ser o caso dos biocombustíveis, a abordagem CET pode equivocadamente, limitar mudanças no uso da terra. Além de não incluir explicitamente, os custos de conversão da terra de um uso para outro.

Ainda para avaliar as mudanças no uso da terra e as consequentes emissões indiretas de GEEs em decorrência da produção de biocombustíveis, vários estudos têm utilizado o modelo de EGC GTAP-BIO, desenvolvido pelo *Center for Global Trade Analyses*, como em Hertel *et al.* (2010), Taheripour *et al.* (2010), Tyner *et al.* (2010) e Taheripour, Hertel e Tyner (2011). Esse modelo usa duas diferentes elasticidades de transformação para determinar a oferta de terra em cada região: uma para definir a alocação de terra entre culturas, pastagens e florestas manejadas, e outra para distribuir a disponibilidade de áreas de cultivos em culturas alternativas. Na ausência de estimativas regionais empíricas para essas elasticidades, o modelo usa o mesmo valor desses parâmetros para todas as regiões do modelo. Entretanto, conforme em Taheripour e Tyner (2013), as mesmas elasticidades de transformação para todas as regiões não podem ser justificadas por observações históricas, pois estas mostram que as mudanças regionais no uso da terra seguiram diferentes padrões durante as duas últimas décadas. Para resolver esse problema, os autores calibram esses parâmetros para as regiões globais de modo a refletir melhor a mudança na terra que tem ocorrido. Além disso, o modelo GTAP-BIO considera lavoura, pastagem e floresta no mesmo ninho, sugerindo que pastagem ou floresta podem ser convertidas em lavouras com a mesma facilidade e custo.

Taheripour e Tyner (2013) também tentam eliminar esse problema separando as áreas de florestas das áreas de pastagens em dois diferentes ninhos, mostrando que as pastagens são convertidas em lavouras a um custo mais baixo do que as florestas.

Contudo, esses modelos ainda continuam considerando a forma funcional CET – elasticidade constante de transformação – para definir o sistema de oferta de terra. Para solucionar esse problema da CET, Gurgel *et al.* (2007) expandiram o trabalho de Reilly e Paltsev (2007), considerando a modelagem formal de mudanças no uso da terra e incluindo a presença de ecossistemas naturais no modelo de equilíbrio geral EPPA. Equações de conversão de uma categoria de uso da terra em outra, assim como de expansão da fronteira agrícola pela redução das áreas de vegetação natural foram acrescentadas no modelo. A capacidade de converter áreas naturais em uso agrícola é modelada considerando dois processos alternativos: um em que a conversão é limitada através de uma elasticidade de substituição baseada na observação recente deste fenômeno, e outro em que a conversão ocorre sempre que os ganhos econômicos excederem os custos de conversão. Isso é feito para que melhor seja captada a capacidade de transformação da terra no longo prazo.

Ferreira Filho e Horridge (2012), por sua vez, para modelar explicitamente a mudança no uso da terra no Brasil, construíram o modelo de equilíbrio geral TERM-BR, que é uma adaptação do modelo australiano TERM. Esse modelo utiliza um módulo de mudança do uso da terra que monitora o uso da terra em cada tipo, baseada em uma matriz de transição e calibrado com dados dos Censos agrícolas brasileiros de 1995 e 2006, o que mostra como o uso da terra foi alterado sob diferentes categorias (culturas, pastagens, silvicultura e florestas naturais) entre esses anos. A agricultura e o uso da terra são modelados separadamente em cada uma das 15 regiões brasileiras presentes no modelo, e esses detalhes regionais captam uma boa ideia das diferenças de solo, clima e história que fazem a terra ser usada em fins específicos. Além disso, o uso da terra é dividido em culturas, pastagens, florestas plantadas e áreas “não utilizadas”, que são áreas ocupadas por florestas naturais, áreas urbanas, topos de montanhas, lagos e estradas. Entre um ano e outro, o modelo permite que o uso da terra se desloque entre a lavoura, pasto e florestas, ou que as terras “não utilizadas” se convertam em um desses três, e as probabilidades ou proporções de como essas mudanças ocorrem são modeladas como uma função da renda do solo.

No presente trabalho é utilizado o modelo de equilíbrio geral EPPA, que segue a formulação de mudanças no uso da terra como em Gurgel *et al.* (2007), com adaptações para o caso brasileiro sugerido por Silva e Gurgel (2012), inclusive na especificação do uso da terra, descrito em detalhes no capítulo de metodologia.

2 Procedimentos metodológicos e dados

Neste capítulo é formalizada a metodologia do modelo de equilíbrio geral, utilizado para mensurar os impactos econômicos decorrentes da introdução de políticas de redução do desmatamento no Brasil. Essa abordagem leva em conta todas as interações entre mercados e, conseqüentemente, todas as inter-relações entre setores são explicitamente consideradas, bem como as relações de interdependência entre agentes econômicos, setores diversos, países e regiões. Ao contrário das análises de equilíbrio parcial em que todos os preços dos outros bens, exceto o de objeto de estudo, são fixos, nos modelos de equilíbrio geral todos os preços são variáveis. Ademais, esses modelos permitem a obtenção das direções e magnitudes de choques exógenos que, neste caso, consistem de políticas de redução do desmatamento.

2.1 O modelo EPPA

O modelo de EGC utilizado nesse trabalho é conhecido como *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA) desenvolvido pelo *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, e descrito em Paltsev *et al.* (2005). O EPPA consiste em um modelo multi-regional, multi-setorial, dinâmico-recursivo, designado para simular cenários de emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e estimar o impacto econômico de políticas de mitigação das mudanças climáticas, como em Reilly e Paltsev (2006), Paltsev *et al.* (2008; 2009; 2012) e Gurgel, Reilly e Paltsev (2007) e Jacoby *et al.* (2009). A versão do modelo a ser utilizada é a quinta versão do EPPA, calibrada para o ano base de 2004, sendo resolvido de forma endógena para o ano de 2005 e após, em intervalos de cinco anos, entre 2005 e 2100, fornecendo projeções para dezesseis países e regiões. Os países e regiões, bem como os setores e fatores considerados no EPPA para este trabalho são apresentados na Tabela 3.

O modelo EPPA é solucionado numericamente por meio do software *General Algebraic Modeling System* (GAMS) (BROOKE *et al.*, 1998), que é um sistema de modelagem para programação e otimização matemática, desenvolvido para modelagens de larga escala e que permite construção de modelos facilmente adaptáveis a novas situações ou propostas. A syntax do algoritmo utilizada é do programa *Modeling Programming System for General Equilibrium* (MPSGE), que foi desenvolvida por Rutherford (1999). O MPSGE constrói

equações algébricas que caracterizam as condições de lucro econômico zero para a produção, equilíbrio entre renda e despesas dos consumidores e equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados de bens e fatores de produção.

Tabela 3 – Agregações utilizadas pelo modelo EPPA

Regiões	Setores	Fatores
Estados Unidos (USA)	Não Energia	Capital
Canadá (CAN)	Agricultura – Culturas (CROP)	Trabalho
México (MEX)	Agricultura – Pecuária (LIVE)	Petróleo xisto
Japão (JPN)	Agricultura – Florestal (FORS)	Carvão
União Europeia (EUR)	Alimentos (FOOD)	Gás natural
Austrália & N. Zelândia (ANZ)	Serviços (SERV)	Hidráulica
Rússia (RUS)	Químicos, borracha, plásticos e papel (CRP)	Nuclear
Leste Europeu (ROE)	Siderurgia e metalurgia (IRON)	Eólica & Solar
China (CHN)	Metais não ferrosos (ALUM)	Terra:
Índia (IND)	Minerais não metálicos (CIME)	- culturas
Brasil (BRA)	Outras Indústrias (OTHR)	- pastagens
Leste Asiático (ASI)	Serviços de transporte (TRAN)	- florestal
Oriente Médio (MES)	Transporte próprio das famílias (FTRAN)	- florestas naturais
África (AFR)	Energia	- pastagens naturais
América Latina (LAM)	Carvão (COAL)	
Resto da Ásia (REA)	Petróleo bruto (OIL)	
	Petróleo refinado (ROIL)	
	Gás natural (GAS)	
	Eletricidade fóssil (ELE)	
	Eletricidade hidráulica (H-ELE)	
	Eletricidade nuclear (A-NUC)	
	Eletricidade eólica (W-ELE)	
	Eletricidade solar (S-ELE)	
	Eletricidade biomassa (biELE)	
	Eletricidade NGCC (NGCC)	
	Eletricidade NGCC - CCS	
	Eletricidade IGCC - CCS	
	Gás sintético (SGAS)	
	Biocombustível (1º geração)	
	Biocombustível (2º geração) (BOIL)	
	Petróleo de xisto (SOIL)	

Fonte: Paltsev *et al.* (2005) e EBC (2012).

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

Em cada período, funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários para gerar os bens e serviços. O consumo é modelado pela presença de um consumidor representativo que busca a

maximização da utilidade pelo consumo de bens e serviços. A representação da habilidade dos indivíduos em realizar escolhas entre diferentes insumos e bens, tanto na produção quanto no consumo, é fundamental no modelo EPPA. Para os setores, 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. Tais escolhas são determinadas pelos parâmetros de elasticidades de substituição nas funções de produção e de utilidade do consumidor.

Também foram representados na construção do modelo novos setores que ofertam tecnologias energéticas, considerados potencialmente relevantes no futuro que, no entanto, ainda possuem custos muito elevados no presente ou pequena participação nos mercados de energia (tecnologias *backstop*).

O modelo fornece estimativas e previsões sobre o crescimento do Produto Interno Bruto nos países e regiões, consumo agregado e produção setorial, consumo e produção de energia em unidades físicas, fluxos comerciais, emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes e custos econômicos das políticas simuladas.

2.2 Dados

Os dados econômicos do modelo EPPA são construídos a partir do Global Trade Analysis Project - GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDUGALL, 2002; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral, em sua versão 7. A base de dados do GTAP7 apresenta matrizes de insumo-produto para 113 países e regiões do mundo e 57 setores de suas economias, além de incluir a representação detalhada dos mercados de energia em unidades físicas. O GTAP foi construído na linguagem de programação conhecida como GEMPACK (HARRISON; PEARSON, 1996), mas o EPPA utiliza a plataforma do GAMS (BROOKE *et al.*, 1998). Para resolver essa incompatibilidade, os dados do GTAP são convertidos e rearranjados a partir do programa GTAPinGAMS (RUTHERFORD; PALTSEV, 2000).

As estatísticas sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono, CO₂; metano, CH₄; óxido nitroso, N₂O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre;

SF6) são obtidos de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. E os dados de outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico, SO₂; óxidos de nitrogênio, NO_x, carbono, BC; carbono orgânico, OC; amônia, NH₃; monóxido de carbono, CO; e compostos orgânicos voláteis não-metano, VOC) estão no banco de dados global EDGAR (OLIVIER e BERDOWSKI, 2001).

Os dados de uso da terra são provenientes da base de dados do GTAP e dos trabalhos desenvolvidos por Hurtt *et al.* (2006).

Muitos desses dados são passíveis de comparação com as estatísticas produzidas por instituições brasileiras, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério de Minas e Energia, Ministério da Ciência e Tecnologia e o Ministério do Meio Ambiente. Com isso, para melhor refletir as estatísticas produzidas por instituições oficiais brasileiras, foram coletados dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006), do Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010b), do Portalbio do Ministério do Meio Ambiente, para serem comparados com os dados iniciais do modelo EPPA. De modo a obter uma representação mais realista da base de dados inicial do modelo para o caso brasileiro.

2.3 Estrutura de equilíbrio

Os problemas de otimização no modelo são abordados como um Problema de Complementaridade Mista (*Mixed Complementary Problem – MCP*), conforme descrito por Mathiesen (1985) e Rutherford (1995), em decorrência da grande quantidade de agentes econômicos e distorções existentes. Essa abordagem requer lucro econômico igual a zero, equilíbrio dos mercados e equilíbrio da renda. Para que essas condições sejam satisfeitas são necessários preços, quantidades e níveis de renda não negativos.

A condição de lucro econômico igual a zero, significa que qualquer setor que produza uma quantidade positiva de produto deve ter lucro igual a zero, ou seja, o valor dos insumos de qualquer atividade precisa ser igual ou maior que o valor da produção. Seja y o nível de atividade econômica para a produção de setores com retornos constantes à escala, em notação vetorial, essa condição pode ser escrita da seguinte maneira:

$$lucro \geq 0, y \geq 0, produto^T (-lucro) = 0. \quad (01)$$

Já a condição de equilíbrio dos mercados requer que um preço positivo exista para qualquer bem cuja oferta se iguale à demanda e que, qualquer bem com excesso de oferta deve ter um preço igual a zero. Essa condição deve ser satisfeita para todo bem e todo fator de produção, associados ao vetor de preços p , da seguinte forma:

$$\text{oferta} - \text{demanda} \geq 0, p \geq 0, p^T (\text{oferta} - \text{demanda}) = 0. \quad (02)$$

A condição de equilíbrio da renda exige que, para cada agente, incluindo entidades do governo, o valor da renda deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das receitas tributárias:

$$\text{renda} = \text{dotações de fatores} + \text{rendas tributárias}. \quad (03)$$

No modelo EPPA assume-se que a produção e o consumo são representados por tecnologias com elasticidade de substituição constante (ESC) (ou funções Cobb-Douglas e Leontief, que são casos especiais de ESC), que exibem retornos constantes de escala. Isso implica que todos os insumos (ou bens de consumo) são necessários, e assim, as condições descritas acima são satisfeitas para a maioria dos mercados com preço, renda, produto e consumo estritamente maiores que zero e com oferta igual à demanda.

Para visualizar o problema de otimização no modelo EPPA, considere uma firma representativa que escolhe um nível y de produto, a partir da combinação das quantidades de fatores primários k dos f fatores primários e a quantidade x de insumos intermediários advindos dos outros j setores, em cada região r e em cada setor i . Sejam π e C as funções lucro e custo, respectivamente, e w_{rf} , o preço do fator f na região r , o problema de maximização de uma firma é dado por:

$$\max_{y_{ri}, x_{rji}, k_{rfi}} \pi_{ri} = p_{ri} y_{ri} - C_{ri}(p_{ri}, w_{rf}, y_{ri}) \text{ tal que } y_{ri} = \varphi_{ri}(x_{rji}, k_{rfi}). \quad (04)$$

Essa equação pode ser reescrita em termos de funções de lucro unitário e de custo unitário, já que a produção é uma função CES, que geram funções de custo linearmente homogêneas pela teoria da dualidade. Além disso, para firmas que exibem retornos constantes de escala, o lucro econômico é igual à zero no equilíbrio. Com isso, o comportamento otimizador da firma implica na seguinte condição de equilíbrio:

$$p_{ri} = c_{ri}(p_{ri}, w_{rf}) \quad (05)$$

em que c é a função custo unitário.

Pelo Lema de Shephard, a demanda intermediária pelo bem j no setor i é:

$$x_{rji} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \quad (06)$$

e a demanda pelo fator f é:

$$k_{rfi} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}}. \quad (07)$$

Quanto ao comportamento das famílias, considera-se um agente representativo para cada região que apresenta dotações iniciais de oferta de fatores de produção, que serão vendidos ou alugados às firmas, escolhendo o nível de consumo e poupança em cada período para maximizar sua função de utilidade sujeita à restrição orçamentária, dado seu nível de renda M :

$$\max_{d_{ri}, s_r} W_{ri}(d_{ri}, s_r) \text{ tal que } M_r = \sum_f w_{rf} K_{rf} = p_{rs} s_r + \sum_i p_{ri} d_{ri}, \quad (08)$$

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

Como as preferências individuais também são representadas por funções de utilidade da forma ESC, semelhantemente, podem ser reescritas em termos de gasto unitário por região:

$$p_{rw} = E_r(p_{ri}, p_{rs}). \quad (09)$$

Tomando novamente o Lema de Shephard, a demanda final compensada por bens é dada por:

$$d_{ri} = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \quad (10)$$

e a poupança é:

$$s_r = \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \quad (11)$$

em que \bar{m}_r é o nível inicial de gasto em cada região.

Finalmente, temos que o sistema de equações é fechado, sendo os preços de balanceamento em mercados diferentes de bens e fatores de produção determinados por expressões de equilíbrio dos mercados. Por simplicidade, pode-se ocultar a demanda final das categorias de investimento, governo e comércio exterior, que seguem a mesma lógica da demanda dos agentes privados. Dessa forma, as equações de equilíbrio são dadas por:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial c_{rj}}{\partial p_{ri}} + \bar{m}_r \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}}, \quad (12)$$

$$K_{rf} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial c_{rj}}{\partial w_{rf}}. \quad (13)$$

2.3.1 Representação da produção

No modelo EPPA as funções de produção são descritas por funções ESC aninhadas. Isto possibilita a flexibilidade na determinação de substituição entre diversos grupos de insumos e fatores, e das elasticidades de substituição, em especial no que diz respeito a combustíveis e

eletricidade e outros processos sensíveis à emissão de poluentes, e aos custos de mitigação. As elasticidades de substituição utilizadas nesse modelo são descritas na Tabela 4⁵.

Uma estrutura comum de função ESC aninhada para os setores de serviços (SERV), transportes (TRAN), intensivos em energia (CROP, IRON e EINT) e outras indústrias (OTHR) é mostrada na Figura 1. Nesse caso, os insumos intermediários aparecem na estrutura como complementares perfeitos ou Leontief, juntamente, com uma cesta de capital-trabalho-energia (KLE), que é formada por uma cesta de energia e valor adicionado.

Tabela 4 – Elasticidades de substituição dos setores produtivos

Símbolo	Descrição	Valor	Comentários
Elasticidades de substituição de energia			
σ_{EVA}	Energia-valor adicionado	0,4-0,5	Aplicado na maior parte dos setores, 0,5 para EINT e OTHR
σ_{ENOE}	Eletric.-combustíveis agregados	0,5	Todos os setores
σ_{EN}	Entre combustíveis	1,0	Todos os setores exceto ELE
σ_{EVRA}	Energia/materiais/terra-valor adic.	0,7	Aplicado somente em AGRI
σ_{ER}	Energia/materiais-terra	0,6	Aplicado somente em AGRI
σ_{AE}	Energia-materias	0,3	Aplicado somente em AGRI
σ_{CO}	Carvão-petróleo	0,3	Aplicado somente em ELE
σ_{COG}	Carvão/petróleo-gás	1,0	Aplicado somente em ELE
Outras elasticidades de produção			
σ_{VA}	Trabalho-capital	1,0	Em todos os setores
σ_{GR}	Recursos-todos outros insumos	0,6	Aplicado em OIL, COAL e GAS
σ_{NGR}	Recursos nucleares-valor adicionado	0,04-0,4	De acordo com a região
Elasticidades comerciais Armington			
σ_{DM}	Doméstico-importados	2,0-3,0	De acordo com o bem Eletricidade
		0,3	Eletricidade
σ_{MM}	Entre importações de diferentes regiões	5,0	Bens não energéticos
		4,0	Gás, carvão
		6,0	ROIL
		0,5	Eletricidade

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

É importante esclarecer que, embora um único ramo para os combustíveis, carvão, petróleo, gás e petróleo refinado (COAL, OIL, GAS, ROIL) pareça limitar a flexibilidade, essa limitação não é significativa. Isso porque o petróleo bruto é usado apenas no setor de petróleo refinado, e o carvão no setor de bens intensivos em energia (EINT) na maioria dos países, e

⁵ As elasticidades usadas no modelo EPPA foram baseadas em extensa revisão de literatura e consultas a especialistas, como descrito em Cossa (2004). Ademais, análises de sensibilidade dos parâmetros do EPPA foram conduzidas por Webster *et al.* (2002) e Cossa (2004).

assim, a elasticidade σ_{EN} é importante em determinar apenas a substituição entre petróleo bruto e gás, o que define a flexibilidade mais apropriada entre os insumos. No caso do setor de transporte, em que maior parte da energia utilizada é advinda do setor de petróleo refinado, a elasticidade é crítica entre o agregado energético e o valor adicionado, refletindo o fato de que há uma baixa substituição entre eletricidade, produtos do petróleo e gás.

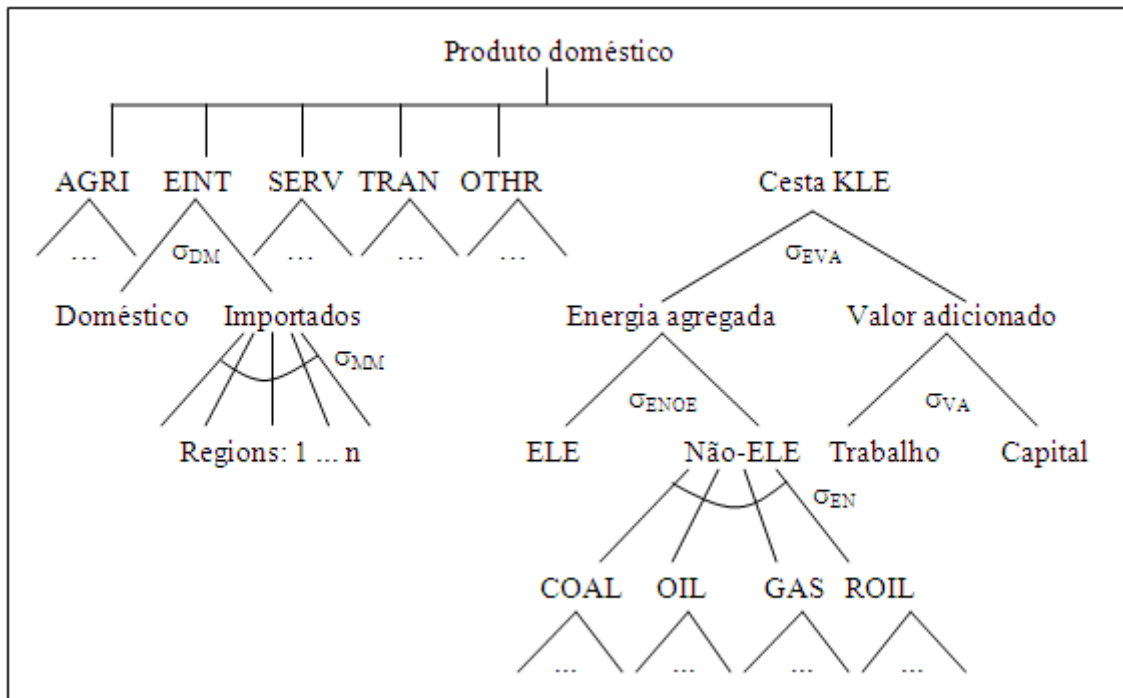


Figura 1 – Estrutura aninhada dos setores de serviços, transporte, intensivos em energia e outras indústrias

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

Outro aspecto interessante dessa estrutura aninhada é a posição dos bens importados. Primeiramente, eles são combinados como bens Armington por região de origem, sendo σ_{MM} responsável por representar a habilidade de um país de realizar substituições entre bens de diferentes regiões. Em seguida, sob a elasticidade σ_{DM} , o agregado de importados é combinado com a produção doméstica do bem, de modo a criar uma cesta de bens ofertados dentro da região.

No modelo EPPA o setor de transporte (TRAN) é desagregado em setor de transporte industrial e setor de transporte das famílias. O setor de transporte industrial oferta serviços de transporte como aéreo, ferroviário, rodoviário e hidroviário para outros setores da economia e para as famílias. Já o setor de transporte das famílias consiste no uso de veículo próprio combinado com despesas de combustíveis, seguros e manutenção.

Para os setores da agricultura (CROP, LIVE e FORS), a estrutura aninhada da produção é diferente das demais, pois inclui a terra como insumo de forma explícita e apresenta um trade-off entre terra e uma cesta de materiais e energia. Além disso, como o fator terra é um insumo específico para a agricultura, a estrutura aninhada provê flexibilidade na substituição entre terra e outros insumos. Tal estrutura é representada na Figura 2.

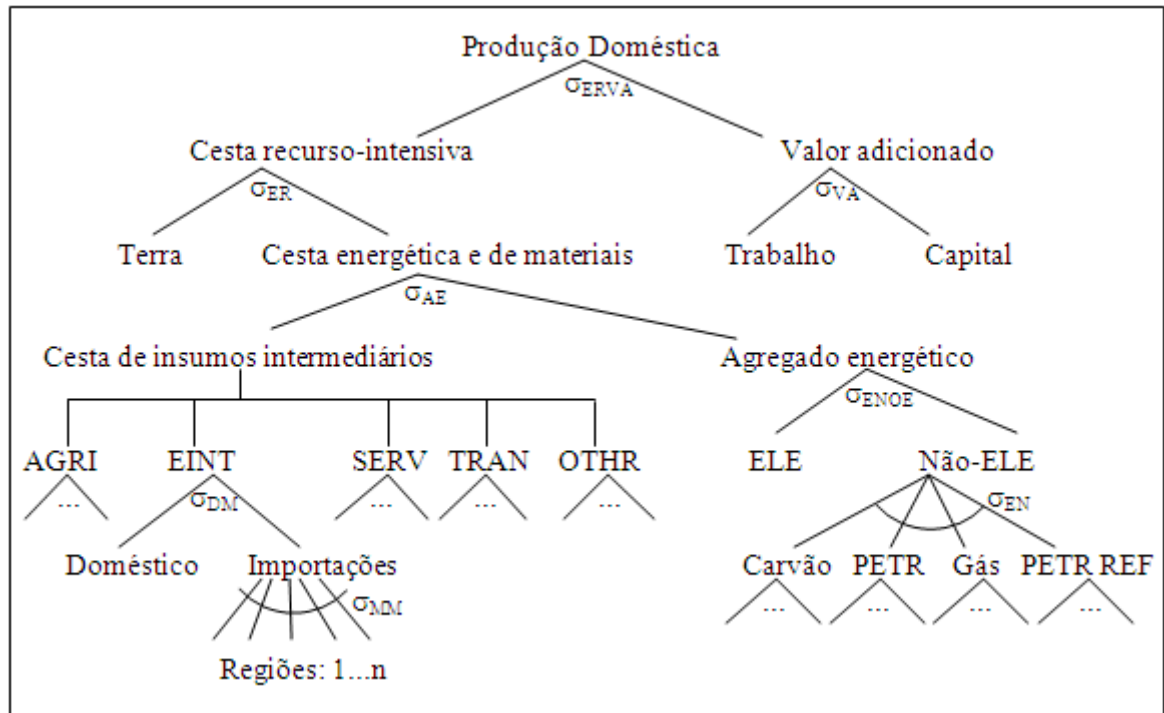


Figura 2 – Estrutura aninhada de produção da agricultura

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

O setor que possui a estrutura de produção mais detalhada no modelo EPPA é o de geração de eletricidade, conforme apresentado na Figura 3. Os ramos superiores permitem o tratamento de diferentes tecnologias de geração, que inclui as que já existem no ano base (convencional fóssil, nuclear e hidráulica) e as tecnologias mais avançadas, que ainda não existem no ano base. A maioria dessas tecnologias avançadas entra como substituto perfeito para as existentes ($\sigma = \infty$), com exceção da tecnologia eólica e solar que entram no topo da árvore tecnológica e substituem outras tecnologias sob a elasticidade σ_{EWS} . Esse último parâmetro permite uma penetração gradual de tecnologias mais avançadas somente quando os preços de geração das tecnologias já existentes se elevam continuamente, o que representa uma limitação da participação das energias eólica e solar na matriz energética.

A estrutura dos setores primários de energia fóssil (carvão, petróleo refinado e gás), representado na Figura 4, não é muito diferente a dos outros setores, exceto pelo fato de que

inclui os recursos fósseis específicos do setor, com a elasticidade σ_{GR} controlando a oferta do recurso de curto prazo, ou seja, sua taxa de extração. Além disso, esses setores também não usam explicitamente combustíveis ou eletricidade, devido à limitação dos dados.

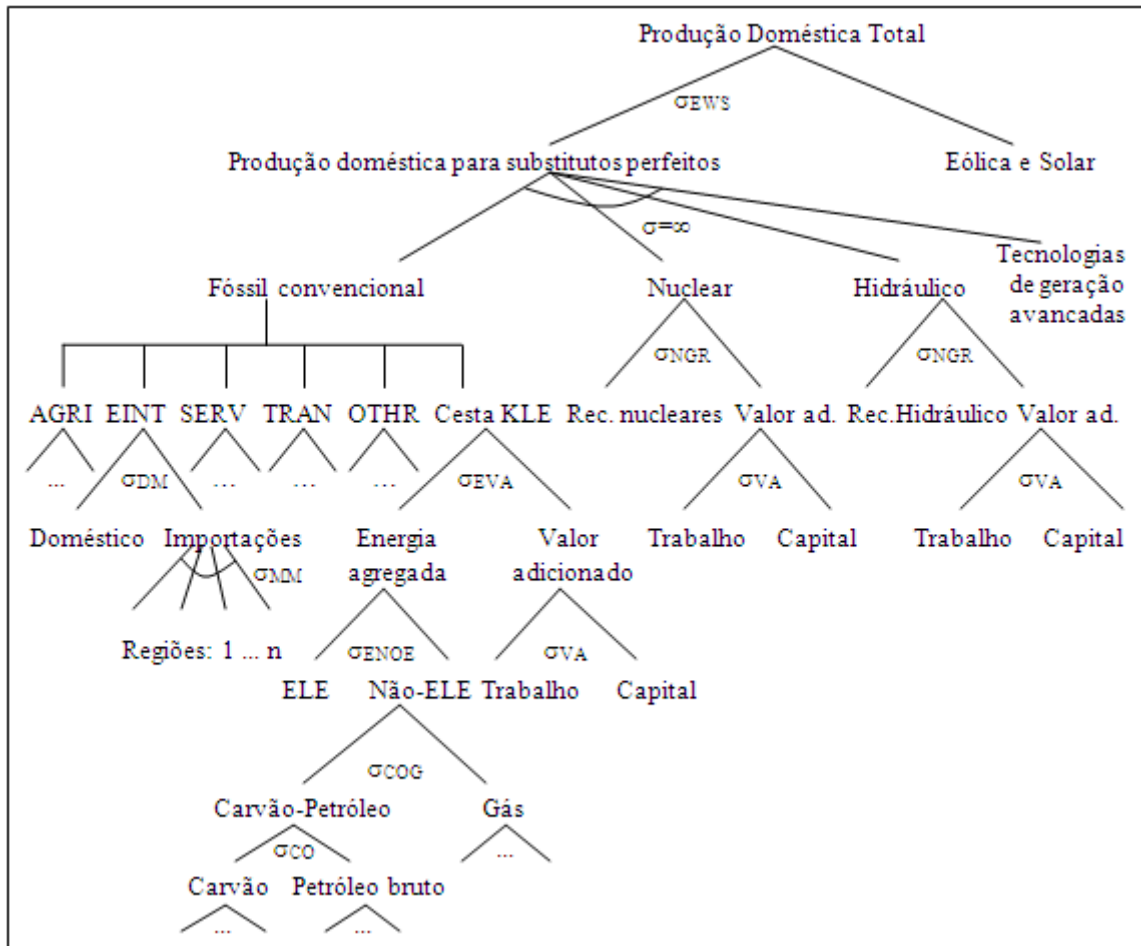


Figura 3 – Estrutura aninhada do setor de geração de eletricidade
 Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

Já o setor de petróleo refinando é o único setor que utiliza o petróleo (OIL) como insumo na geração de produtos de petróleo refinado, entrando na função como um insumo intermediário complementar, e não como parte da demanda por energia, como apresentado na Figura 5. A estrutura desse setor está explícita no modelo EPPA para que o tratamento de questões como políticas de emissão direcionadas à refinaria seja mais apurado.

Quanto às fontes de energia hidráulica e nuclear, estas possuem estruturas de produção mais simples, com foco nos recursos mais relevantes, capital e trabalho. Tais energias ainda têm dotações de fatores fixos específicas às regiões, podendo representar os limites regionais à expansão dessas tecnologias, além disso, não são considerados insumos intermediários na

produção. Para capital e trabalho, a elasticidade de substituição é igual a um, e para o fator fixo específico e o valor adicionado a substituição é controlada pela elasticidade σ_{NGR} .

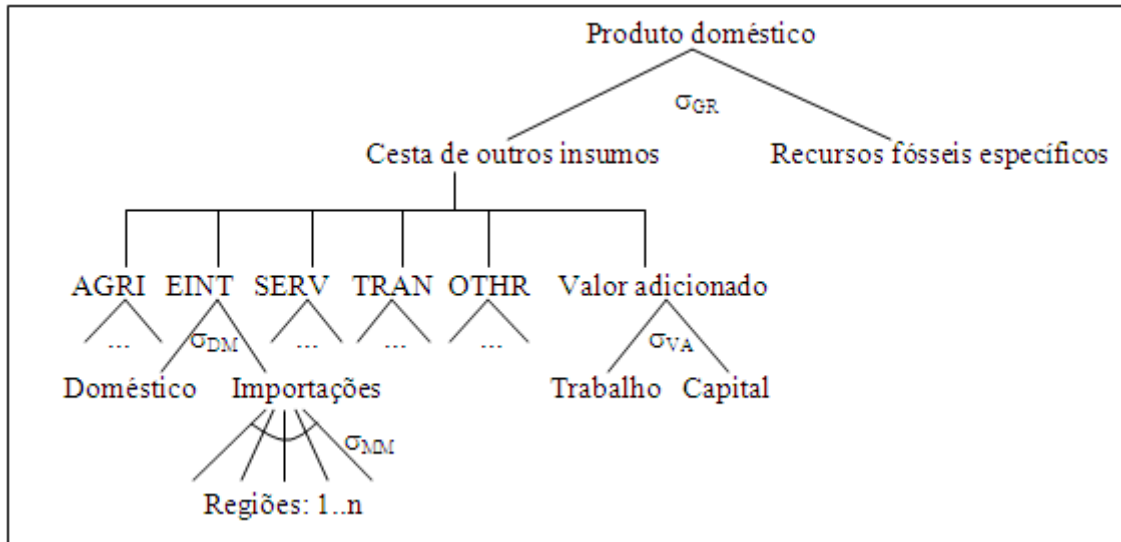


Figura 4 – Estrutura aninhada dos setores primários de energia fóssil
Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

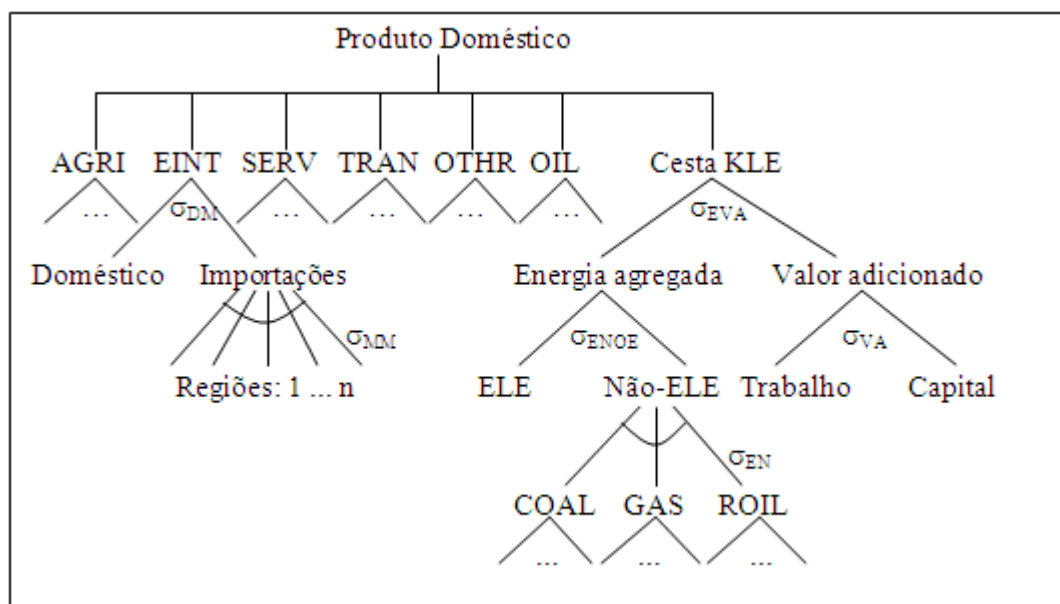


Figura 5 – Estrutura aninhada do setor de petróleo refinado
Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

2.3.2 Consumo

Os valores de referência das elasticidades da demanda de um consumidor representativo utilizadas no modelo EPPA são mostrados na Tabela 5. Como a função de consumo ESC nesse modelo é homogênea de grau um, a parcela do gasto com cada bem no consumo total permanece constante. Embora isso não seja consistente com as tendências de longo prazo, isso ajuda a simplificar a solução do modelo. Técnicas de modelagem são utilizadas para captar as possibilidades de mudanças na composição dos gastos das famílias ao longo do tempo, como detalhadas a seguir.

Tabela 5 – Elasticidade de substituição no consumo final

Símbolo	Descrição	Valor	Comentários
Elasticidades de demanda final para energia			
σ_{EC}	Energia-outro consumo	0,25	
σ_{EF}	Entre combustíveis e eletricidade	0,4	
σ_{FSO}	Petróleo refinado (ROIL)- serviços/outros	0,3	Aumenta ao longo do tempo
Outras elasticidades de demanda final			
σ_{CS}	Consumo-Poupança	0,0	
σ_C	Entre bens não energéticos	0,25-0,65	Valores do ano base entre os países aumentam com a renda per capita
σ_{CT}	Transporte-outro insumo	1,0	
σ_{PO}	Transporte próprio-comprado	0,2	
σ_{SO}	Serviços-outro	0,5	

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

A elasticidade entre insumos não energéticos para o consumo é uma função do crescimento da renda per capita, variando por período e região. Assim, conforme Lahiri, Babiker e Eckaus (2000), a participação do consumo em cada período é atualizada em função do crescimento da renda per capita. Para solucionar a limitação dos retornos constantes de escala no consumo, as elasticidades e as parcelas de participação de bens e serviços no consumo são consideradas dependentes da mudança na renda entre períodos e não dentro de um período. Esse procedimento mantém a homogeneidade dentro de um período consistente com retornos constantes, mas capta a evolução do consumo em função da renda ao longo do tempo.

O modelo EPPA também utiliza uma estrutura ESC aninhada para apresentar as preferências dos consumidores, como pode ser visto na Figura 6. Um aspecto peculiar do modelo é que a poupança entra de modo direto na função utilidade, o que gera uma demanda por poupança e torna a decisão de consumo/investimento endógena. Porém, na mensuração do bem-estar, apenas as mudanças no consumo agregado são consideradas, excluído a poupança, já que ela é transformada em investimentos, que impactam a produção e o consumo no próximo período.

O bem-estar é medido em termos de variação equivalente Hicksiana em cada período, ou seja, a variação necessária na renda para que o consumidor obtenha o mesmo nível de utilidade que tinha antes da mudança nos preços relativos.

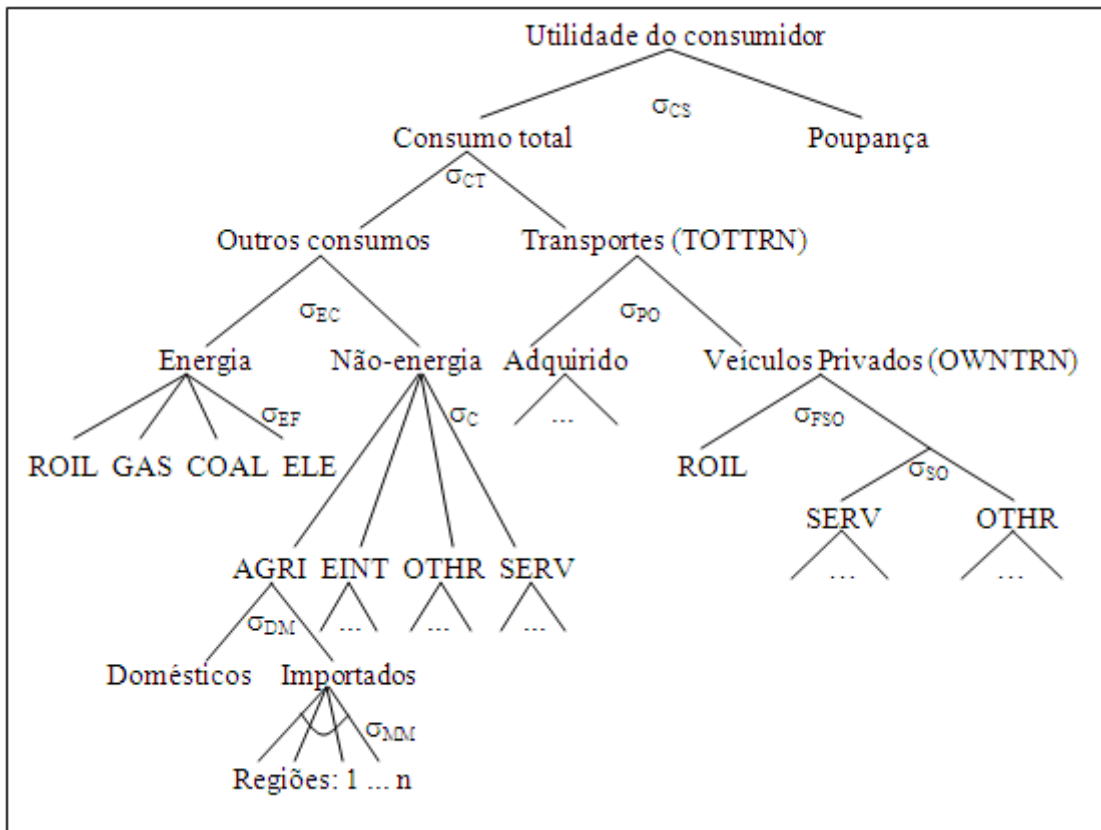


Figura 6 – Estrutura aninhada do consumo das famílias

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

A estrutura aninhada do consumo das famílias capta em ramos opostos e níveis diferentes o que é transporte das famílias (uso de carro próprio e compra de serviços de transporte) e o que é consumo de energia. Primeiramente, a utilidade é aberta em poupança e consumo total, este por sua vez, é dividido entre transporte e outros consumos, e é neste último que surge o ramo energia.

Vale destacar que o consumo de serviços de transporte das famílias é dividido em transporte próprio (veículos privados) e compras de transporte. O consumo próprio de serviços de transporte é realizado com a utilização de insumos de outras indústrias como as compras de veículos, combustíveis (produzido pela indústria de petróleo refinado e colocado de forma explícita no ramo de transporte) e serviços (manutenção, seguros, estacionamento, entre outros). Já as compras de transporte são oriundas da indústria de transportes como viagens aéreas, hidroviárias, ferroviárias, entre outros.

2.3.3 Comércio internacional

No comércio internacional, o petróleo bruto é considerado um produto homogêneo, e por isso, todos os países e regiões se deparam com um único preço no mercado mundial. Além disso, está sujeito a tarifas, impostos às exportações e margens de transporte. Já o carvão, gás e petróleo refinado são tratados como bens Armington, devido à diferenciação e qualidade.

No modelo, todos os bens são comercializados nos mercados mundiais. Embora seja representado, o comércio de eletricidade é pouco comum na base de dados, ocorrendo apenas entre regiões fronteiriças. O fato das funções ESC tenderem a preservar a parcela de participação de cada insumo faz com que a expansão da comercialização da eletricidade no mercado internacional seja limitada, bem como o surgimento de comércio entre regiões onde este não ocorre na base de dados. Isso acaba representando a dificuldade de instalação de linhas de transmissão fora das fronteiras de um país.

A formulação de Armington na representação de comércio possibilita que os fluxos de comércio bilaterais sejam explicitados, de modo que as regiões podem ser ao mesmo tempo exportadoras e importadoras de um bem em particular, que no caso são calibrados para o ano base (2004). Tais fluxos bilaterais englobam impostos de exportações, tarifas de importações e margens de transportes internacionais, explicitamente representados no modelo. No caso do modelo EPPA, na qual a maioria dos bens produzidos é uma agregação de diversos bens individuais, a capacidade de representar o comércio nas duas direções é importante.

2.3.4 Mudanças no uso da terra

O uso da terra no modelo EPPA está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, produção florestal e matas secundárias (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais. As áreas no uso de culturas, pastagens e silvicultura, bem como as de florestas naturais e campos naturais, são determinadas pelo modelo de ecossistemas terrestres denominado de *Terrestrial Ecosystem Model* – TEM (MELILLO *et al.*, 2009) com base no trabalho de Hurtt *et al.* (2006). O modelo TEM classifica, mapeia e categoriza os diferentes tipos de vegetação e uso da terra ao nível de 0,5° por 0,5° de latitude e longitude. O modelo classificou as áreas de vegetação típicas de

florestas naturais do trabalho de Hurtt *et al.* (2006) na categoria Florestas Naturais (NFORS), enquanto as áreas com características de cerrado e campos foram classificadas na categoria de Campos Naturais (NGRASS) do EPPA. Áreas de florestas de vegetação secundária em recuperação (que não atingiram ainda estágios de equilíbrio vegetativo) e de florestas plantadas foram classificadas no TEM na categoria de Florestas Plantadas e Secundárias (FORS). A Tabela 6 apresenta a distribuição dos diferentes tipos de uso da terra no modelo EPPA calibrados para o ano de 2010 nas regiões do modelo.

Tabela 6 – Total de áreas por categoria em cada categoria do modelo EPPA calibrados para o ano de 2010 – em mil ha

Regiões	Culturas (CROP)	Pastagens (LIVE)	Florestas plantadas e secund. (FORS)	Campos e savanas naturais (NGRASS)	Florestas naturais (NFORS)	Outras (OTHER)
Estados Unidos	189162	110558	181805	95177	240753	112908
Canadá	51649	22407	64263	-	345084	456539
México	25659	65704	35700	9035	65910	1513
Japão	5245	680	9426	-	26887	206
Austrália & N. Zelândia	36371	397773	48436	65548	299153	25416
União Europeia	136931	57926	99655	22292	118626	59920
Leste Europeu	182540	183021	95820	10014	102798	33342
Rússia	161477	156579	166834	33589	648485	509364
Leste Asiático	96311	14673	10993	-	198408	23018
China	273455	237672	57835	21252	99075	244079
Índia	208851	24250	14037	-	59348	14924
Brasil	65334	138846	109622	95491	421307	23941
África	260171	905260	217987	106318	661482	850130
Oriente Médio	21700	231880	28883	43583	55925	140829
América Latina	127751	296366	103626	41501	327545	151548
Resto da Ásia	121409	143814	48990	61961	97738	33175

Fonte: TEM/EPPA.

No caso brasileiro, os dados iniciais de uso da terra do modelo EPPA foram comparados e mostraram-se compatíveis com os dados do Portalbio do Ministério do Meio Ambiente e do Censo Agropecuário (IBGE, 2006)⁶. Na categoria NFORS para o Brasil os dados do TEM/EPPA são passíveis de associação às áreas de vegetação nativa florestal dos biomas Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal. Já na categoria NGRASS do EPPA, pode-se relacionar as áreas de vegetação nativa dos biomas Cerrado, Caatinga e Pampa.

⁶ Algumas considerações sobre a comparação dos dados do EPPA com os das estatísticas nacionais encontram-se no Apêndice A. A subseção 9 do capítulo 4 apresenta resultados de análises de sensibilidade dos resultados do modelo quando da alteração da base de dados de uso da terra do EPPA.

Cada categoria de terra é considerada um recurso renovável, que pode ser modificada pela sua conversão em outra categoria, ou abandonada em categoria não utilizada (vegetação secundária). Além disso, a terra está sujeita a melhorias exógenas de produtividade, estabelecidas em 1% ao ano para cada categoria, o que reflete a tendência histórica de avanço na produtividade agropecuária, bem como o rendimento histórico das safras, o qual tem apresentado um crescimento de 1% a 3% ao ano, de acordo com Reilly e Fuglie (1998).

Com relação à transformação do uso da terra, a área sob determinada categoria pode ser expandida pela conversão de outras categorias de terras. Por exemplo, estradas e acessos para áreas de florestas podem ser criados, fazendo com que uma terra desmatada possa ser transformada em áreas destinadas à silvicultura, pastagens ou culturas. O sentido oposto também pode ser observado, ou seja, áreas destinadas às culturas podem ser abandonadas voltando a crescer florestas ou campos secundários.

A representação da transformação do uso da terra é realizada por equações de conversão de uma categoria de uso da terra em outra e de expansão da fronteira agrícola pela redução das áreas de vegetação natural. Para que isso seja consistente, duas condições devem ser satisfeitas: uma é manter a consistência entre a contabilidade física do solo e a contabilidade econômica no cenário de equilíbrio geral, e a outra requer que o desenvolvimento dos dados seja consistente com as observações empíricas. A Figura 7 apresenta o funcionamento das relações de conversão de uso da terra.

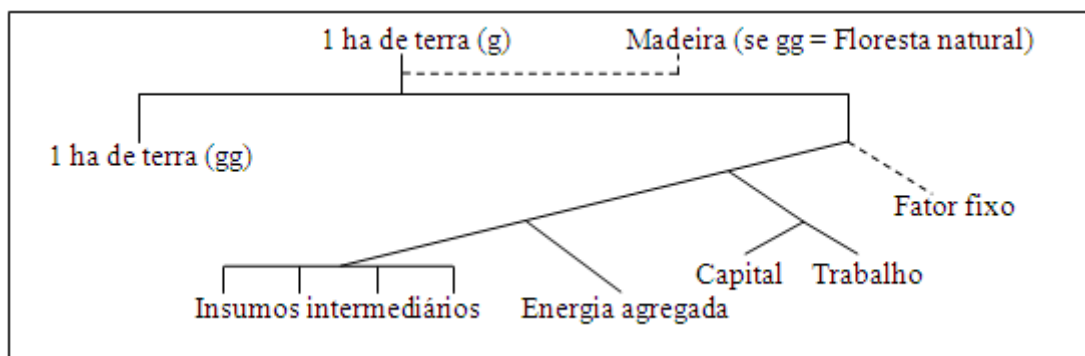


Figura 7 – Estrutura das funções de conversão do uso da terra
Fonte: Gurgel; Reilly; Paltsev (2007). Tradução própria.

A linha tracejada na parte superior indica uma função de produção de coeficiente fixo, multi-produto, que gera um produto florestal (madeira e produtos florestais) quando áreas de florestas naturais são convertidas, atuando como substituto perfeito da produção do setor florestal. Para modelar a resposta observada da oferta de terra utiliza-se um fator de produção fixo, sendo a elasticidade de substituição entre o fator fixo e outros insumos parametrizada de

forma a representar a resposta observada da oferta de terra em resposta a mudanças no preço da mesma nas últimas décadas. O modelo adota a resposta observada da conversão de terras nos últimos anos como uma representação da resposta de longo-prazo.

Nas relações de conversão de uso da terra, considera-se que um hectare de determinada categoria de terra pode ser convertido em um hectare de outra categoria. A produtividade média da terra convertida dependerá do tipo de terra que fora convertida e a região. Já o custo da conversão marginal de um tipo de terra em outro, em equilíbrio, deve ser igual à diferença entre o valor econômico dos dois tipos de terra. Esse procedimento permite manter a pressuposição de lucro econômico igual a zero nos modelos de equilíbrio geral. Ademais, exige-se que na conversão sejam utilizados insumos reais através de uma função de transformação da terra.

O valor de uso da terra é representado pelas transações monetárias reais como inferido pelas agências de estatísticas econômicas de cada país, logo, esse valor deve ser compatível com os dados sobre receita, custos dos insumos e retornos de outros fatores. A partir da base de dados do GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDUGALL, 2002; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), obtêm-se a renda da terra. Como as categorias florestas naturais e pastagens naturais não são utilizadas para produção econômica, por não estarem em uso corrente, é preciso um esforço para inferir um valor econômico para essas categorias. Utilizaram-se aqui os procedimentos adotados no estudo de Gurgel; Reilly; Paltsev (2007). Para tal, foram utilizados dados de Sohngen e Tennyson (2004) sobre o custo de conversão de áreas de vegetação natural, derivados da hipótese de que o custo de acesso a novas áreas, na margem e em condições de equilíbrio, deve igualar-se ao valor do estoque de produto vegetal (madeira) existente naquela área mais o valor presente dos estoques futuros após a regeneração da vegetação. Esse autor utiliza um modelo ótimo de exploração florestal capaz de representar diferentes regiões do mundo e seus tipos de vegetação natural. Esses dados, em conjunto com as taxas médias de regeneração da vegetação natural, permitem obter um valor de renda da terra coberta por áreas de vegetação natural como o valor presente líquido da madeira de futuros cortes da vegetação natural, que é obtido após se descontar do custo de conversão (equivalente no equilíbrio ao valor presente da floresta virgem) o valor de venda do estoque de madeira então existente, além de se considerar o tempo necessário para futuros cortes de acordo com a taxa de regeneração do tipo de vegetação em questão.

Considerando os dados de renda das categorias de uso da terra em produção agropecuária do GTAP, o procedimento descrito no parágrafo anterior para obter a renda da terra das áreas de vegetação natural, e as áreas das diferentes categorias de uso da terra no modelo EPPA,

apresenta-se na Tabela 7 as rendas da terra por hectare das regiões no ano base do modelo. Em geral, a renda de áreas de culturas é a mais alta (a não ser para países em que áreas de pastagens são muito limitadas), seguida da renda das áreas de pastagens. As áreas de florestas plantadas e secundárias são geralmente menores que as de outros usos produtivos, uma vez que esta categoria agrega não apenas áreas de silvicultura, mas também áreas de vegetação secundária em regeneração. As áreas de vegetação natural (florestas e campos) são as de menor renda da terra, uma vez que não são exploradas comercialmente.

Tabela 7 - Renda da terra nas regiões do EPPA, em 2004 – em US\$/ha

Regiões	CROP	LIVE	FORS	NGRASS	NFORS
Estados Unidos	140,7	73,0	6,3	1,0	1,0
Canadá	32,6	48,2	13,2		2,1
México	235,5	44,5	3,7	0,6	0,7
Japão	1682,0	6349,0	48,0		17,3
Austrália & N. Zelândia	63,1	6,5	5,8	2,9	2,6
União Europeia	151,8	269,5	24,8	5,4	0,5
Leste Europeu	40,1	19,5	1,9	0,4	0,0
Rússia	34,8	15,1	2,5	0,5	0,5
Leste Asiático	393,7	754,1	21,1		7,4
China	163,5	119,3	17,0	7,2	1,0
Índia	258,2	425,3	10,1		2,2
Brasil	69,1	11,4	0,7	0,1	0,1
África	53,4	4,6	3,1	0,3	0,2
Oriente Médio	159,4	7,9	2,1	1,8	1,8
América Latina	110,9	22,7	2,8	1,3	1,3
Resto da Ásia	135,5	52,1	5,9	4,0	4,2

Fonte: Resultados do modelo EPPA, com base nos dados de Hurtt *et al.* (2006), Dimaranan e McDougall (2002) e Sohngen e Tenny (2004).

As funções de transformação do uso da terra representadas na Figura 7 são calibradas para representar a resposta observada de oferta da terra desde 1990 até os dias atuais, considerando os custos crescentes associados com o uso de insumos e fatores para a conversão, a necessidade de ampliar a infraestrutura de acesso a áreas de vegetação natural remotas, e as instituições formais e informais (leis, padrões de conduta, grupos ambientalistas e percepção da sociedade) que atuam com base em razões ambientais e conservacionistas, dificultando tais conversões. Para tal, calcula-se a elasticidade-preço da oferta de terra para cada região, considerando o aumento médio no preço da terra de 1990 a 2005 e a área média anual de conversão de áreas de florestas em cada região. Com base em Hyman *et al.* (2002), converte-se essa elasticidade da oferta em uma elasticidade de substituição entre o fator fixo na Figura

7 e os demais insumos usados na conversão, dada pela divisão entre a elasticidade da oferta e a parcela de custo dos demais insumos no custo da função de conversão. Para a calibragem das funções ainda são necessárias estimativas da parcela da produção florestal do país gerada a partir do corte de florestas naturais, bem como a área relativa de floresta natural sendo desmatada em relação à área total da categoria de uso da terra de floresta plantada e secundária (FORS). Essas informações são apresentadas na Tabela 8. Percebe-se que as regiões em que não há mais desmatamento líquido e/ou aparente as elasticidades são próximas de zero, bem como os demais parâmetros. As maiores elasticidades da oferta da terra são obtidas para as regiões com maiores taxas de desmatamento, quais sejam Resto da América Latina, África e Leste Asiático.

Tabela 8 - Parâmetros utilizados nas funções de transformação de uso da terra

Regiões	Parcela da produção florestal de área de desmatamento	Relação entre a área desmatada e a área de floresta plantada	Elasticidade de oferta da terra	Elasticidade de substituição entre o fator fixo e os demais insumos
Estados Unidos	0,01	0,00	0,02	0,02
Canadá	0,01	0,00	0,08	0,08
México	0,08	0,02	0,30	0,30
Japão	0,01	0,00	0,02	0,02
Austrália & N. Zelândia	0,04	0,02	0,30	0,31
União Europeia	0,01	0,00	0,02	0,02
Leste Europeu	0,01	0,00	0,02	0,02
Rússia	0,01	0,00	0,10	0,10
Leste Asiático	0,80	0,21	0,45	0,46
China	0,01	0,00	0,02	0,02
Índia	0,07	0,02	0,03	0,03
Brasil	0,11	0,02	0,16	0,16
África	0,08	0,02	0,50	0,51
Oriente Médio	0,01	0,01	0,05	0,05
América Latina	0,05	0,03	0,84	0,86
Resto da Ásia	0,22	0,07	0,30	0,30

Fonte: calibragem do modelo EPPA.

2.3.5 Fechamento do modelo

Quanto ao fechamento macroeconômico do modelo, a cada período considera-se que a oferta total de cada fator de produção é constante (com exceção das diferentes categorias de uso da terra, que são transformáveis em outras, como descrito anteriormente), os fatores são móveis entre setores dentro de uma mesma região, com exceção da parcela não maleável do capital, e não há movimento de fatores de uma região para outra. O fator terra é específico aos setores agropecuários enquanto recursos naturais são específicos aos setores que extraem os mesmos para produção de energia. Não há desemprego no modelo, portanto os preços dos fatores são flexíveis.

Pelo lado da demanda, a propensão marginal a poupar é constante e específica a cada região de acordo com a sua parcela no total da renda na base de dados iniciais. O consumo do governo pode alterar com mudanças nos preços dos bens, assim como a receita advinda dos impostos está sujeita a mudanças no nível de atividade e no consumo.

Os fluxos internacionais de capitais que compensam os desequilíbrios no comércio de bens e serviços no ano base do modelo são assumidos exógenos e declinantes com o tempo, reduzindo os déficits ou superávits nas transações correntes ao longo do horizonte do modelo. Dessa forma, mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer a cada período para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações.

2.4 Dinâmica do modelo

As pressuposições a respeito da capacidade do modelo de captar a dinâmica da economia no tempo são fundamentais na caracterização e consistência dos modelos de equilíbrio geral. A evolução temporal do modelo 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. Os processos mais influentes na evolução do modelo no tempo incluem o acúmulo do capital, a disponibilidade futura de tecnologias alternativas, as mudanças estruturais no consumo, o crescimento da força de trabalho, a evolução na intensidade de uso de energia e o esgotamento de recursos.

O fato de o modelo EPPA ser dinâmico-recursivo significa que as decisões econômicas de otimização são realizadas a cada período, considerando apenas preços e quantidades vigentes naquele período (expectativas “míopes”). Para o período seguinte, os valores de referências para o processo de otimização são os resultados obtidos no período anterior. Isso quer dizer

que, em cada período o modelo possui um processo estático de solução, na medida em que os agentes não se preocupam com tendências ou valores futuros esperados para as demais variáveis.

As mudanças estruturais na demanda por bens e serviços produzidos por cada setor, incluindo alimentos e combustíveis, ocorre à medida que o produto e a renda aumentam. Um dos aspectos importante da dinâmica das economias é a forte evidência empírica de redução da participação de alimentos e produtos básicos e de aumento da participação de serviços nos gastos dos consumidores à medida que a renda per capita cresce, que também deve ser representada no modelo.

Quanto aos estoques de recursos limitados e/ou recursos naturais, como combustíveis fósseis, estes diminuem à medida que são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. O modelo EPPA considera três tipos de recursos fósseis individualmente, rastreando em unidades físicas as reservas de petróleo, de carvão e de gás natural. Mais especificamente, esses recursos são modelados como possuindo diferentes graus de qualidade, o que implica em aumento no custo de extração conforme reduz a sua quantidade. Ao longo do tempo, o estoque desses recursos energéticos regionais reduz-se em quantidade equivalente à extraída para a produção física do combustível no período anterior. Como o modelo é solucionado recursivamente de cinco em cinco anos, o esgotamento do recurso é aproximado nos anos intermediários por meio da multiplicação do produto de cada setor de combustível por um fator de cinco. Já os setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos.

No que diz respeito ao crescimento da força de trabalho, este é definido exogenamente, sendo composto pelos efeitos separados do crescimento populacional e da produtividade do trabalho. O crescimento populacional está baseado na tendência de longo prazo dos dados das Nações Unidas (UN, 2000 e 2001). Já a produtividade do trabalho é especificada de forma a permitir a reprodução de níveis de produto interno bruto nas regiões do modelo conforme previsto pelo Fundo Monetário Internacional (IMF, 2000).

Outra fonte importante de crescimento da economia considerada no modelo é a mudança tecnológica exógena. Dois tipos de mudança tecnológica exógenas existentes nos modelo são destacados por Jacoby *et al.* (2004). Uma delas assume um incremento exógeno na produtividade do trabalho, levando-se em conta previsões sobre o crescimento da população e da produtividade do trabalho, bem como na oferta de recursos naturais, por meio de aumentos na produtividade da terra e de descobertas de novas fontes de recursos naturais. O outro tipo é a redução do uso de insumos por unidade de produto ao longo do tempo. Essa especificação

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 ligada a mudanças nos preços, baseado na observação de que há uma diminuição 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 por mudanças tecnológicas na demanda por energia. A evolução do AEEI no modelo é baseada nas estimativas de Paltsev *et al.* (2005), que comprova trajetórias diferenciadas para cada região, na qual a eficiência no uso de energia se reduz levemente para todos países e regiões nos primeiros períodos do modelo, exceto China e os países desenvolvidos, e depois o AEEI cresce, mas em ritmos diferenciados no tempo e no espaço. No entanto, as trajetórias do AEEI, diferenciadas para cada região do modelo, conjecturam as mudanças nesse parâmetro historicamente observadas nos países desenvolvidos como função da renda per capita dos mesmos.

Nas próximas duas subseções são detalhadas a descrição dos processos de acúmulo do capital e a disponibilidade futura de tecnologias alternativas, que somados aos processos descritos anteriormente, bem como às políticas de redução de gases de efeito estufa ou no uso de energia, devem determinar a evolução das economias no tempo, alterando a competitividade e participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos. É importante ressaltar que o modelo não considera processos dinâmicos de inovação tecnológica endógenos, que poderiam gerar a descoberta de novas fontes de energia, de aumentos mais pronunciados na produtividade de uso das mesmas, ou até mesmo em formas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

2.4.1 Evolução do capital

Ao contrário dos modelos de otimização intertemporal em que os agentes conhecem as condições econômicas futuras para tomar decisões de poupança e investimentos, nos modelos dinâmico-recursivos, investimento e poupança são baseados apenas em variáveis do período corrente. Além disso, a poupança em cada período se iguala ao investimento, sendo que este último repõe a depreciação dada e contribui para a formação de capital do próximo período.

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

O setor de investimento é representado por um setor produtivo específico, igualando-se ao nível de poupança determinado pela função de utilidade do agente representativo. O investimento agregado deve ser empregado por cada setor da economia como demanda setorial por investimentos (formação bruta de capital fixo mais variação de estoques) de acordo com as 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.

Um das sofisticções mais importantes do modelo EPPA é a representação da dinâmica de uso do capital pela distinção entre capital maleável e não-maleável. Isso é feito com a finalidade de capturar a dificuldade de se converter o capital de uma atividade em fator produtivo de uso alternativo em outro setor no curto prazo. Em outras palavras, mostra que a evolução da economia ano a ano não comporta a flexibilidade de se converter máquinas, equipamentos e edifícios de uma atividade em outras em curtos espaços de tempo. Em especial, para o caso dos setores de energia, que precisam de um longo tempo para maturar os investimentos e não convertem facilmente as plantas e as tecnologias já colocadas em funcionamento.

Para representar essa rigidez do estoque de capital, assume-se que a parcela maleável do estoque de capital em cada setor é descrita pelas funções ESC. 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 admite a substituição entre insumos. A parcela de capital não maleável e dos demais insumos na função de produção são definidas no momento que tal capital é formado, refletindo a tecnologia sendo utilizada no momento de emprego daquele capital. Essa formulação permite ao modelo exibir respostas de curto e de longo prazo a partir de mudanças nos preços relativos. 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 de produção setorial originada da utilização de capital não maleável, menores são as possibilidades de substituição entre insumos no período corrente e menor será a capacidade de conversão daquele setor em capital a ser empregado por outro setor.

2.4.2 Tecnologias alternativas

Para finalizar a caracterização dos elementos chaves que definem a evolução dos modelos dinâmicos, é necessário representar as tecnologias que ainda não estão em uso ou são usadas em pequena escala, mas que, no entanto, podem se tornar disponíveis em futuro próximo. Essas tecnologias são fundamentais para as discussões de políticas climáticas, porque atualmente já são conhecidas diversas fontes de energia limpa, mas que são demasiadamente caras de serem utilizadas. Algumas alternativas energéticas, como a solar e a eólica, devem começar a ser utilizadas em maior escala quando a oferta de recursos energéticos convencionais tornar-se mais escassa e/ou mais cara ou quando as políticas de redução de emissões começarem a penalizar as fontes energéticas convencionais. A Tabela 9 mostra as opções de tecnologias alternativas avançadas presentes no modelo EPPA.

Tabela 9 – Tecnologias alternativas disponíveis no modelo EPPA

Tecnologia	Descrição
Bicombustível de biomassa	Converte a biomassa em um substituto perfeito para petróleo refinado (segunda geração de biocombustíveis).
Carvão avançado com sequestro e captura de carbono	Ciclo combinado integrado de gaseificação do carvão (CCIG) que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
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 do gás natural (CCGN) que converte gás natural em eletricidade.
Gás avançado com sequestro e captura de carbono	Tecnologia de ciclo combinado do gás natural que captura 90% ou mais do CO ₂ produzido na geração de energia.
Gaseificação de carvão	Converte carvão em um substituto perfeito para o gás natural.
Petróleo de xisto	Extraí e melhora o betume do xisto transformando-o em um substituto perfeito para o petróleo.

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

Os atributos específicos dessas tecnologias são determinados pelos parâmetros das funções ESC aninhadas. A abordagem básica é análoga à especificação dos outros setores da economia. As estruturas de produção para cada uma dessas tecnologias são apresentadas nas figuras de 8 a 11.

A estrutura de produção do biocombustível de segunda geração (celulósico) é análoga à estrutura do petróleo de xisto, como pode ser visto na Figura 8. A diferença é que o recurso específico para o petróleo de xisto é o conteúdo estimado das reservas de xisto, enquanto que para o biocombustível, esse recurso é a terra. Ademais, os recursos do petróleo de xisto são esgotáveis, ao contrário do recurso terra que é considerado renovável, cuja produtividade aumenta exogenamente com o tempo.

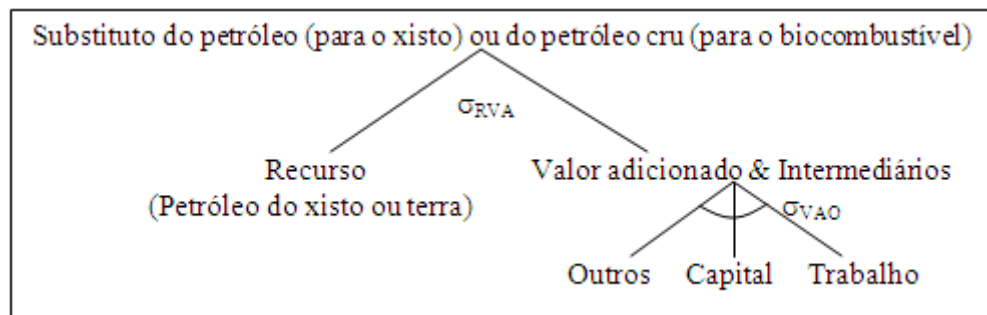


Figura 8 – Estrutura da produção de petróleo de xisto e de biocombustível
Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

A produção de eletricidade a partir da biomassa também usa o fator terra como recurso, mas sua árvore tecnológica é diferente do setor de biocombustível porque inclui um fator específico que contém o ritmo de entrada desta tecnologia e limita a expansão a taxas maiores do que seria esperado na prática. Tal representação é apresentada na Figura 9.

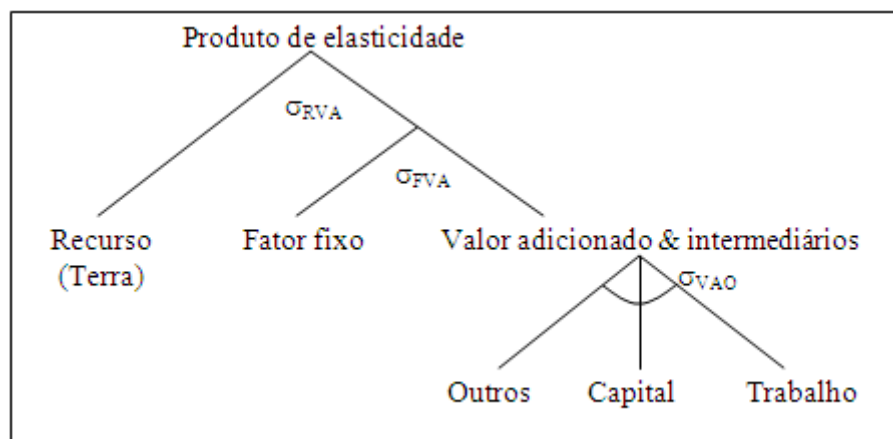


Figura 9 – Estrutura tecnológica bioelétrica e eólica & solar
Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

A Figura 10 apresenta a tecnologia de gaseificação de carvão que inclui insumos intermediários no ramo superior e a matéria-prima carvão, considerados complementares à cesta de valor adicionado.

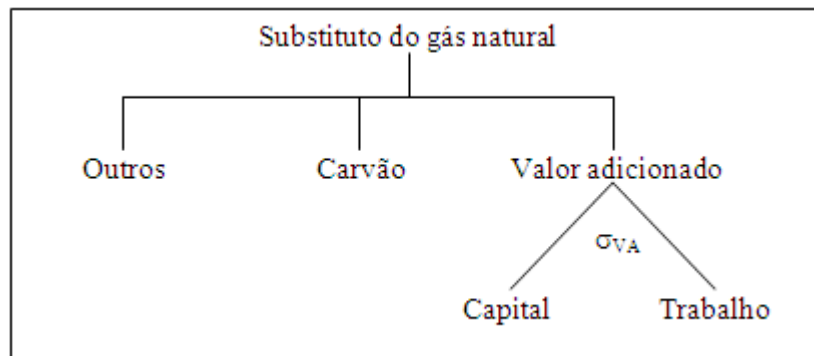


Figura 10 – Estrutura tecnológica de gaseificação de carvão
 Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

As três tecnologias avançadas de geração de eletricidade a partir de combustível fóssil são: a tecnologia de ciclo combinado de gás natural sem sequestro de carbono; a mesma tecnologia com sequestro e captura de carbono; e a uma tecnologia integrada de gaseificação de carvão com sequestro e captura de carbono. Suas estruturas são similares entre si e incluem ramificações separadas para descrever o custo de transmissão e distribuição (T&D), de geração e de sequestro, conforme mostrado na Figura 11.

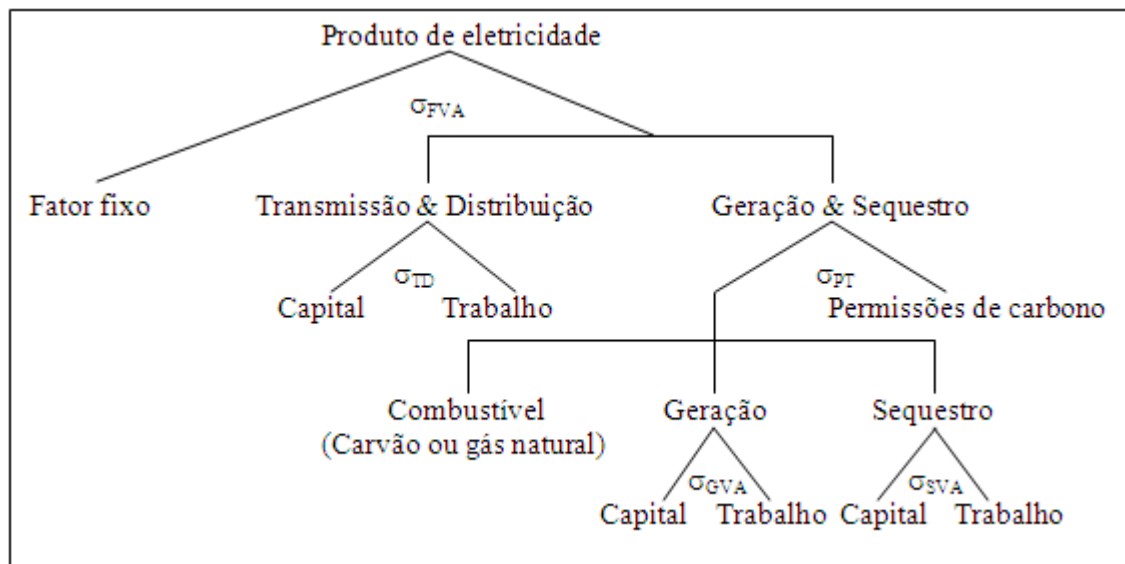


Figura 11 – Tecnologia de eletricidade fóssil avançada
 Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

Outra peculiaridade dessa representação é que as permissões de carbono entram em um ramo da estrutura. Além disso, ela possibilita representar que, para aumentar a taxa de captura e sequestro de carbono, mais de todos os insumos para geração desses serão utilizados conforme o preço do carbono aumenta. Também são incluídos fatores fixos adicionais no topo

da estrutura aninhada que permitem representar os custos de ajustamento que ocorrem no desenvolvimento de novos setores.

Assim como na representação das tecnologias convencionais, a capacidade de substituição entre os insumos em resposta a mudanças nos preços relativos é controlada pelas elasticidades de substituição. Os valores assumidos no modelo para essas elasticidades são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Elasticidade de substituição de insumos nas tecnologias alternativas

Símbolo	Tecnologia	Valor	Insumos
σ_{RVA}	Petróleo de xisto	0,5	Recurso-valor adicionado/outro
σ_{RVA}	Bio-elétrica	0,3	Recurso-valor adicionado/outro
σ_{RVA}	Biocombustível	0,1	Recurso-valor adicionado/outro
σ_{RVA}	Eólica e solar	0,02-0,06	Recurso-valor adicionado/outro
σ_{FVA}	Bio-eletricidade	0,4	Fator fixo-valor adicionado / outro
σ_{FVA}	Eólica e solar	0,6	Fator fixo-valor adicionado / outro
σ_{FVA}	NGCC, NGCC & IGCC com sequestro	0,1	Fator fixo-valor adicionado / outro
σ_{VAO}	Petróleo de xisto	0,2	Trabalho-capital-outro
σ_{VAO}	Biocombustível & eletricidade, eólica & solar	1	Trabalho-capital-outro
σ_{VA}	Aplicada à gaseificação do carvão	0,5	Capital-trabalho
$\sigma_{GVA,SVA,TD}$	Geração, transmissão e sequestro	0,8	Capital-trabalho
σ_{PT}	NGCC & IGCC com sequestro	1	Créditos de emissões

Fonte: Paltsev *et al.* (2005). Tradução própria.

O período de entrada dessas tecnologias, ou momento no tempo em que elas tornar-se-ão disponíveis, depende dos custos relativos das mesmas em relação aos custos das fontes convencionais de energia. A Tabela 11 mostra as parcelas de participação dos diferentes insumos nas tecnologias descritas anteriormente, bem como o fator de *markup*, que é o custo relativo estimado em relação à tecnologia tradicional com a qual a tecnologia alternativa deve competir.

Conforme discutido por Jacoby *et al.* (2004), em geral, as taxas de penetração observadas para uma tecnologia nova mostram que essa penetração ocorre de forma gradual. Para replicar esse comportamento, o modelo EPPA atribui ao agente representativo uma quantidade pequena de recurso fixo, que é específico para cada nova tecnologia. A dotação desse recurso cresce como uma função do produto do período anterior, e a capacidade de expansão é restringida em qualquer período pela quantia desse recurso de fator fixo e pela habilidade de substituir outros insumos por este. Como o produto aumenta ao longo do tempo, a dotação cresce, diminuindo a limitação na capacidade de expansão.

Tabela 11 – *Markup* e parcelas de custos com insumo para as tecnologias alternativas

Tecnologia	Markup	Parcela de insumos e fatores							
		Recursos	Outros	Capital	Trabalho	Fator fixo			
Gás de carvão	3,5-4,0	0,4	0,1	0,3	0,3	-			
Petróleo de xisto	2,5-2,8	0,1	0,27	0,36	0,36	-			
Biocombustível	2,1	0,1	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	0,4	0,4	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	0	0,23
Gás av. com SCC	1,16	0,01	0,29	0,07	0,26	0,26	0,05	0	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). Tradução própria.

A intuição por trás desta especificação é de que a indústria dessa nova tecnologia possui recursos escassos de engenharia para construir plantas produtoras. Mas se houver demanda para expansão da capacidade, as firmas com essa capacidade gerarão retorno, e com isso, elas ganharão experiência e expandirão a dotação do fator fixo para períodos futuros. A parametrização desse custo de ajustamento baseia-se na observação da capacidade de expansão das usinas nucleares a partir de sua entrada na década de 1980.

2.5 Biocombustíveis

Os biocombustíveis que atualmente são produzidos e estão em uso, não são considerados de modo explícito na versão 5 original do modelo EPPA, pois o uso em larga escala dessas tecnologias é relativamente novo e seu potencial de contribuição na redução de emissões de GEEs é limitado ou tem sido questionado⁷. No entanto, como na última década houve um grande desenvolvimento na produção e no uso dos biocombustíveis de primeira geração em vários países, caso do etanol de cana-de-açúcar no Brasil, do etanol de milho nos EUA e do biodiesel na EU, bem como de políticas específicas de estímulo aos mesmos, torna-se importante acrescentar ao modelo EPPA a representação dessas tecnologias.

A inclusão dos biocombustíveis de primeira geração no modelo é feita pelo acréscimo de vários blocos de produção para diferentes tipos de biomassa designada a biocombustíveis, de

⁷ Para mais detalhes a respeito dessas discussões vide IEA (2004), Seabra (2008), Fargione *et al.* (2008) e Searchinger *et al.* (2008).

acordo com o nível corrente de produção existente nos diversos países, assim como blocos de produção para representar o processamento da biomassa para a geração do biocombustível. Com base na parcela de área cultivada em cada país ou região do EPPA, de acordo com os dados da FAO para o ano de 2005, e a partir das matrizes insumo-produto do GTAP, são incluídos os seguintes tipos de biomassa: culturas açucareiras (dividido em cana-de-açúcar e beterraba), grãos (milho), trigo e oleaginosas (canola, soja e palma). A estrutura aninhada de produção de biomassa para biocombustíveis de primeira geração é apresentada na Figura 12.

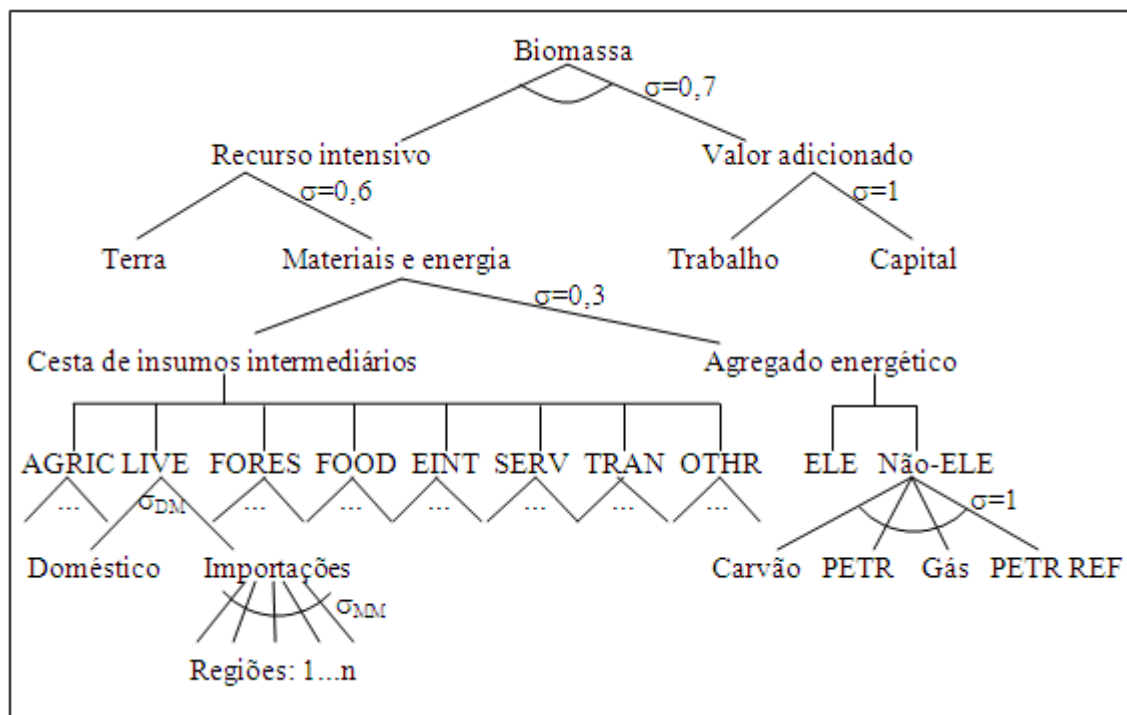


Figura 12 – Tecnologia de produção de biomassa para biocombustíveis de primeira geração
Fonte: EBC (2012).

Como pode ser visto, a produção de biomassa demanda insumos intermediários, energia e fatores primários. A parcela de participação desses insumos no custo total da produção é obtida por meio da base de dados do GTAP7. O fator terra é específico para a produção de culturas agrícolas, e sua produtividade para a produção de biomassa é específica de cada região do modelo e reflete a média histórica, conforme os dados da FAO. Tal produtividade aumenta exogenamente à taxa de 1% ao ano.

A produção de um tipo de biocombustível utiliza seu respectivo tipo de biomassa, e a estrutura aninhada desta tecnologia é apresentada na Figura 13. Aqui as estimativas das parcelas de cada insumo no custo total de produção de cada tipo de biocombustível baseiam-se no procedimento adotado por Gitiaux *et al.* (2009), que coletou informações sobre

diferentes insumos utilizados no processo produtivo de bioenergia. Então, adotando esse procedimento, a estimativa do custo de produção para o etanol de cana-de-açúcar no Brasil é de 0,39 US\$ por litro, de 0,55 US\$ por litro para o etanol de milho nos EUA e de 0,57 US\$ por litro para o biodiesel de soja na EU. Já os custos de cada tipo de biocombustível para as demais regiões são extrapoladas assumindo-se que a tecnologia de produção de um tipo de biocombustível é igual em todas as regiões (em termos de participação de cada insumo no custo total de produção), exceto a parcela correspondente à biomassa, que varia regionalmente de acordo com as diferenças em preços observadas para a cultura utilizada na produção da biomassa.

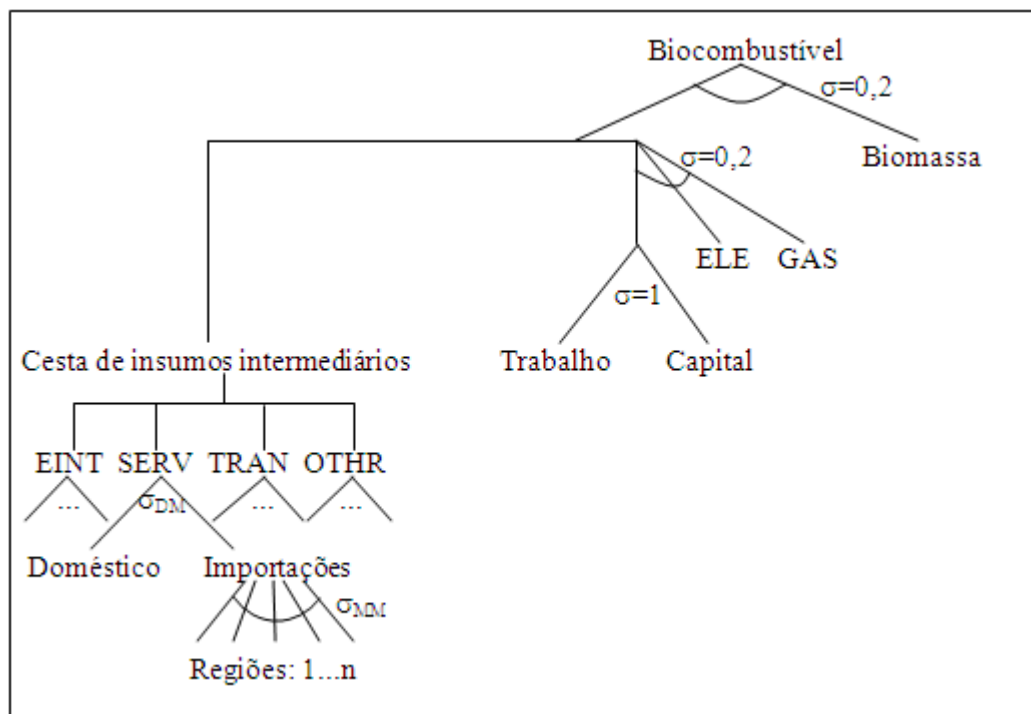


Figura 13 – Tecnologia de produção de biocombustíveis de primeira geração

Fonte: EBC (2012).

O modelo considera os preços normalizados no equilíbrio inicial iguais à unidade, e produtos e insumos denominados em valores monetários e não em unidades físicas. Assim, se a tecnologia de biocombustível for mais cara que o combustível derivado do petróleo no equilíbrio inicial, calcula-se essa diferença de custo (chamado de *markup*) e multiplica-se o custo do biocombustível por esse número para refletir o maior custo relativo do biocombustível. Esse procedimento garante que os valores em unidades monetárias do modelo e a contabilidade física de unidades de energia, emissões, volume de biomassa e área sejam consistentes. Assim, um país ou região deve produzir algum tipo de biocombustível

apenas se a tecnologia for competitiva em relação ao derivado do petróleo, ou então, se a produção for incentivada por subsídios e/ou exigências de misturas de combustíveis.

3 Cenários de políticas de redução do desmatamento

Antes de definir os cenários que serão simulados no modelo EPPA é importante fazer um breve levantamento das principais frentes de ações e medidas da política de mitigação de mudanças climáticas do governo brasileiro e seus desdobramentos sobre a questão da redução do desmatamento. As informações aqui descritas foram obtidas junto ao site do Ministério do Meio Ambiente (www.mma.gov.br).

3.1 Políticas climáticas do governo brasileiro

Desde a década passada, o governo brasileiro tem criado uma série de dispositivos institucionais para dar efetividade e legitimidade aos esforços para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a preservação ambiental. Um dos primeiros desses dispositivos institucionais foi o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm), criado em 2004, com o objetivo de reduzir substancialmente a taxa de desmatamento, que apresentava uma curva ascendente. Os principais eixos do plano eram o ordenamento fundiário e territorial, o monitoramento e controle ambiental, e o fomento a atividades produtivas sustentáveis.

Entretanto, apesar dos esforços no âmbito desse plano, a taxa de desmatamento voltou a crescer na Amazônia a partir do segundo semestre de 2007 (BRASIL, 2009b). Com isso, o governo acelerou a assinatura do Decreto nº 6.321, em 21 de dezembro de 2007, que estabeleceu um conjunto de medidas para controlar o desmatamento. Tais como a edição da lista de municípios considerados prioritários para as ações de controle ambiental e fundiário, nos quais ficou proibida a emissão de novas autorizações de desmatamento e a possibilidade de o INCRA promover o recadastramento dos imóveis rurais; e a obrigatoriedade dos embargos de áreas ilegalmente desmatadas (reforçado pelo Decreto nº 6.514 que aprimorou a regulamentação da Lei de Crimes Ambientais). Porém, um mês antes, o governo já havia promulgado outro decreto (Decreto nº 6.263), pelo qual criou o Comitê Internacional sobre Mudança do Clima com a função de elaborar a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Ademais, em fevereiro de 2008, o Conselho Monetário Nacional (CMN) aceitou modificar as regras de concessão de crédito rural, de

modo a exigir o requisito de regularidade ambiental e fundiária para a concessão de empréstimo a propriedades rurais na Amazônia.

Em dezembro de 2008, foi apresentado o Plano Nacional sobre Mudança do Clima com o objetivo de identificar, planejar e coordenar as ações e medidas que podem ser exploradas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa geradas no Brasil, assim como àquelas imprescindíveis à adaptação da sociedade brasileira aos impactos que ocorram devido à mudança do clima. Esse plano, que é constituído a partir das diretrizes gerais da Política Nacional sobre Mudança do Clima, contidas primeiramente no Projeto de Lei nº 3.535/2008 (posteriormente aprovada), está formulado nos seguintes eixos: mitigação; vulnerabilidade, impacto e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e capacitação e divulgação. Dentre seus principais objetivos, destacam-se a busca pela redução sustentada das taxas de desmatamento para todos os biomas, até que alcance o desmatamento ilegal zero, e a eliminação da perda líquida da área de cobertura florestal no Brasil, até 2015. Quanto às principais metas, têm-se: redução da taxa de desmatamento anual da Amazônia (redução de 80% até 2020 de acordo com o Decreto nº 7.390); ampliação de 100% da área de florestas plantadas, para onze milhões de hectares em 2020, sendo dois milhões de hectares com uso de espécies nativas; aumento da reciclagem de resíduos sólidos urbanos em 20% até 2015; ampliação em 11% ao ano nos próximos anos do consumo interno de etanol; aumento da oferta de energia elétrica de co-geração, principalmente a do bagaço de cana-de-açúcar, para 11,4% da oferta total de eletricidade no país, em 2030; entre outros.

Em dezembro de 2009 foi aprovada a Lei nº 12.187, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Constituída como estratégia permanente, a PNMC norteia a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, dos planos estaduais e de outros planos, programas, projetos e ações relacionados com a mudança do clima (BRASIL, 2009a). Também oficializou o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de GEEs entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Os instrumentos para execução da PNMC são, entre outros, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima⁸, a Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas, as linhas de crédito

⁸ O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima tem como objetivo financiar empreendimentos e fomentar pesquisas, estudos, geração de informações, projetos ou iniciativas voltadas à redução de emissões ou remoção por sumidouros de GEE, e também a adaptação aos efeitos associados à mudança do clima.

e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados, e o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento.

Conforme disposto no Decreto 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a PNMC, são considerados como planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado). Por sua vez, para cumprir o compromisso voluntário de redução das emissões nacionais de GEEs, esses planos devem considerar ações para:

- Reduzir em 80% os índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005, até 2020;
- Reduzir em 40% os índices anuais de desmatamento no Bioma Cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008, até 2020;
- Recuperar quinze milhões de hectares de pastagens degradadas; expandir o plantio de florestas em três milhões de hectares;
- Promover a expansão biológica de nitrogênio em 5,5 milhões de hectares de áreas de cultivo, em substituição ao uso de fertilizantes nitrogenados;
- Ampliar o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em quatro milhões de hectares; e entre outros.

Assim, com as alterações trazidas pelos decretos e leis descritos acima e o lançamento do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, a coordenação do PPCDAm iniciou um processo de revisão do plano ainda em 2008. E hoje restringe sua atuação para o campo mais diretamente vinculado ao principal problema a que se propõe solucionar, o desmatamento ilegal, de modo a cumprir com meta de redução em 80% da taxa de desmatamento na Amazônia, até 2020. A exemplo de como o governo pretende garantir o cumprimento dessa meta, no Anexo A são apresentadas as ações e metas delineadas pelo plano para o período de 2009 a 2011.

Já o PPCerrado foi favorecido por todo o aparato legal, acima descrito, em sua primeira versão em setembro de 2009, envolvendo o conjunto do governo na iniciativa do plano. Sendo ao plano atribuído a tarefa de tratar de ações que levarão a redução do desmatamento no bioma em 40% até 2020⁹.

Paralelamente, a esse processo de formulação das políticas de mitigação de mudanças climáticas, também ganharam vigor as propostas de modificações do Código Florestal brasileiro, que foi substituído, a partir de 28 de maio de 2012, pela Lei 12.561 e a MP 571/12,

⁹ Maiores informações sobre os objetivos e ações estratégicas do plano podem ser vistas no documento que descreve o PPCerrado em BRASIL (2010a).

constituindo o novo Código Florestal. Conforme FGV (2012), as principais mudanças trazidas pelo novo código em comparação ao anterior são, entre outras: a redução de exigências de preservação, tanto em APP quanto em RL, para propriedades de até quatro módulos fiscais; a inclusão das APPs no cálculo da RL; a compensação de RL podendo ser feita em outra propriedade dentro do mesmo bioma; e a redução de exigências de preservação e recomposição em APPs ripárias com faixas de vegetação menores e medição da faixa começando na borda da calha do leito regular do rio. Um ponto importante do Código Florestal são as normas sobre Reserva Legal, a exigência de matas nativas sobre a área da propriedade, que ficou estabelecido em 80% no imóvel situado em área de florestas da Amazônia Legal (que pode cair para até 50% em Estados e municípios com mais de 65% do território em Unidades de Conservação da Natureza), 35% para o Cerrado, e 20% para demais regiões.

3.2 Cenários implementados

Com base nas informações apresentadas na subseção anterior, foram simulados quatro cenários de redução de desmatamento, além de um cenário de referência. No entanto, antes de descrevê-los é importante esclarecer que as especificações do novo Código Florestal não foram simuladas no modelo, devido à complexidade em levantar e descrever a situação dos imóveis rurais, o que foge do escopo deste trabalho. Além disso, o foco deste trabalho é a limitação da retirada da cobertura vegetal natural e não a recuperação de áreas desmatadas, que mesmo depois de recuperadas, não seriam contabilizadas como floresta ou vegetação natural.

1. Cenário de referência – REF: os indicadores econômicos são avaliados como se o governo não implantasse políticas de redução do desmatamento. Em outras palavras, REF representa a trajetória da economia projetada pelo modelo EPPA, se ela continuasse sob a mesma dinâmica que a determina hoje, excluídas as políticas de combate ao desmatamento.
2. Cenário de redução do desmatamento considerando as metas atuais – denominado de cenário “Meta Atual”: considera as metas do Decreto 7.390, de redução de 80% do desmatamento da Amazônia e de redução de 40% do desmatamento no Cerrado até 2020. No entanto, essas metas são mantidas até 2050, isso porque acredita-se que a

sociedade (principalmente, por parte das ONGs) pressionará o governo para que os esforços e as conquistas adquiridos até 2020, ao menos, sejam mantidos.

3. Cenário de desmatamento zero para a Amazônia até 2050 – AM_Zero: simula-se uma situação hipotética de que o desmatamento na Amazônia é completamente eliminado até 2050 a taxas exponenciais acumuladas quinquenalmente, e a meta atual de redução do desmatamento no Cerrado é mantida até 2050.
4. Cenário de desmatamento zero para a Amazônia e o Cerrado até 2050, ambos a taxas exponenciais – AM_CE_Exp: considera-se que, após o cumprimento das metas de 2020 para o Cerrado e a Amazônia, sejam assumidas metas para eliminação do desmatamento até 2050, as taxas exponenciais acumuladas quinquenalmente.
5. Cenário de desmatamento zero para a Amazônia e o Cerrado até 2050, a taxas lineares – AM_CE_Linear: são as mesmas condições do cenário AM_CE_Exp, exceto pelo fato de que supõe-se uma trajetória linear de redução das taxas de desmatamento entre 2020 e 2050.

O objetivo da simulação dos últimos dois cenários é o de mostrar as consequências do *trade-off* que a sociedade enfrentará para zerar o desmatamento até 2050. Isso poderá ser de forma lenta e com mais desmatamento, como é o caso das taxas lineares, ou de modo rápido e com menor perda de área total de vegetação natural, caso das taxas exponenciais. Para ficar mais claro os choques de redução do desmatamento que foram implementados no modelo, a Tabela 12 mostra qual o montante de áreas que foi permitido ao modelo desmatar por ano e por bioma, enquanto a Tabela 13 mostra o total de áreas desmatadas por ano em cada cenário.

Tabela 12 – Total de áreas permitidas de desmatamento no modelo por bioma – em mil ha

Taxa de desmatamento	Amazônia						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Meta Atual	382,92	382,92	382,92	382,92	382,92	382,92	382,92
Desmatamento zero 2050 - exp.	382,92	65,94	11,35	1,96	0,34	0,06	0,01
Desmatamento zero 2050 - linear	382,92	319,10	255,28	191,46	127,64	63,82	0,01
Taxa de desmatamento	Cerrado						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Meta Atual	942	942	942	942	942	942	942
Desmatamento zero 2050 - exp.	942	141,30	21,20	3,18	0,48	0,07	0,01
Desmatamento zero 2050 - linear	942	785	628	471	314	157	0,01

O desmatamento permitido em 2020 é baseado na meta de redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia, em relação à média de 19.625 km² (1.962,5 mil hectares) verificada entre os anos de 1996 a 2005, conforme descrito no Plano Plurianual 2012-2015

(BRASIL, 2011), o que resulta em 382,92 mil hectares ao ano de desmatamento em 2020. Para o caso do Cerrado, é previsto uma redução de 40% dos índices anuais em relação à média de 15,7 mil km² (1.570 mil hectares) verificada entre os anos de 1999 a 2008 (BRASIL, 2011), resultando em 942 mil hectares desmatados em 2020.

Tabela 13 – Total de áreas permitidas de desmatamento no modelo em cada cenário – em mil ha

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Total
Meta Atual	1324,92	1324,92	1324,92	1324,92	1324,92	1324,92	1324,92	9274,47
AM_Zero	1324,92	1007,94	953,35	943,96	942,34	942,06	942,01	7056,58
AM_CE_Exp	1324,92	207,24	32,55	5,13	0,81	0,13	0,02	1570,81
AM_CE_Linear	1324,92	1104,10	883,28	662,46	441,64	220,82	0,02	4637,25

No caso do cenário Meta Atual, esses montantes de desmatamento anual permitidos em 2020, de 382,92 mil ha para a Amazônia e 942 mil ha para o Cerrado, foram mantidos até 2050.

No demais cenários, quando se tratam de desmatamento zero em 2050, na verdade foi permitido ao modelo um nível de desmatamento residual de 10 hectares no ano de 2050, para evitar problemas numéricos na solução do modelo.

Apesar de ser usado o termo “redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado” indiscriminadamente, as políticas de restrições dos desmatamentos estão sendo aplicadas às categorias de uso da terra classificadas como Florestas Naturais (NFORS) e Campos Naturais (NGRASS) do modelo EPPA, respectivamente. Como explicado anteriormente, na categoria NFORS assume-se que estão incluídas as áreas da Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal, e na categoria NGRASS, Cerrado, Caatinga e Pampas. Acredita-se que, considerando as menores taxas de transformação dos biomas Mata Atlântica, Pantanal, Caatinga e Pampas em relação aos biomas Cerrado e Amazônia, os resultados do modelo possam ser interpretados em termos desses dois últimos biomas sem comprometimento da qualidade de análise.

Também foi incorporado ao modelo os orçamentos do PPCDAm e do PPCerrado como perdas monetárias para a sociedade. Os custos orçados para o PPCDAm entre 2009 e 2011 foram R\$ 1.223.577.295 (BRASIL, 2009b) e para o PPCerrado, R\$ 340.477.905 entre 2010-2011 (BRASIL, 2010). Com base nesses valores, foi calculada a média anual, transformado em dólares e descontado a inflação americana, sendo os dois últimos obtidos da base de dados do FMI. Os valores futuros foram estimados com base nas estimativas do FMI para câmbio e inflação americana, até 2017, e a partir desse ano, foi usado como previsor uma média móvel desses indicadores. No entanto, não se espera que esses gastos provoquem impactos consideráveis nos resultados, já que representaram uma parcela insignificante do PIB.

4 Resultados¹⁰

4.1 Produção da agricultura, pecuária e de alimentos

Os resultados obtidos mostram que a introdução de políticas de redução do desmatamento tem efeitos negativos sobre o valor da produção agrícola, pecuária e de alimentos. Tais efeitos estão diretamente relacionados à dificuldade dos setores agrícola e pecuário de substituir o insumo fundamental à sua produção, a terra. No entanto, os impactos não são expressivos. Os próximos três gráficos apresentam as mudanças percentuais na produção desses setores para os vários cenários de redução do desmatamento. As mudanças percentuais são calculadas em relação à produção observada no cenário de referência (REF).

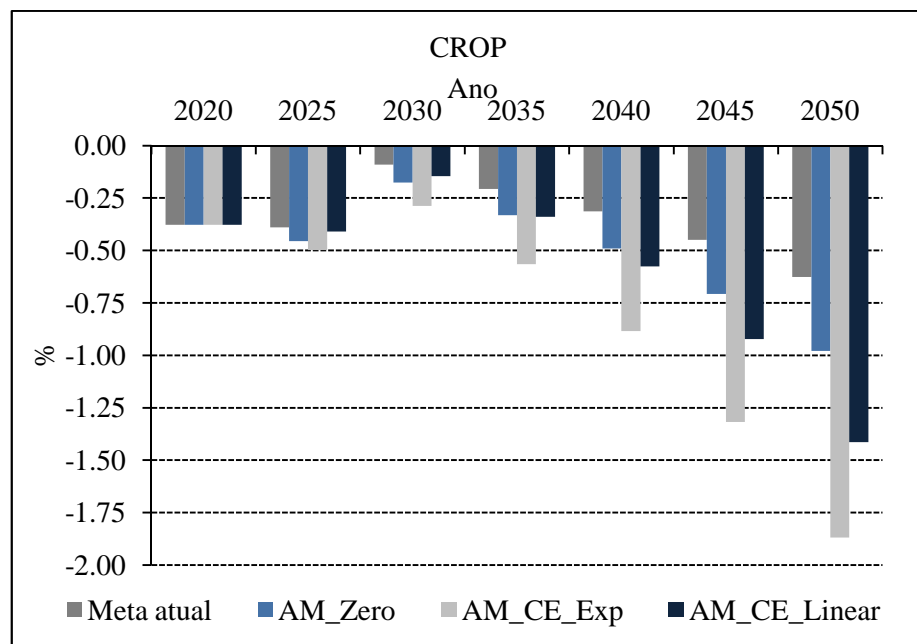


Gráfico 2 - Mudanças (%) no produto da agricultura nos cenários de referência em relação ao cenário de política

¹⁰ Os resultados absolutos de todas as variáveis no cenário de referência são apresentados no Apêndice C.

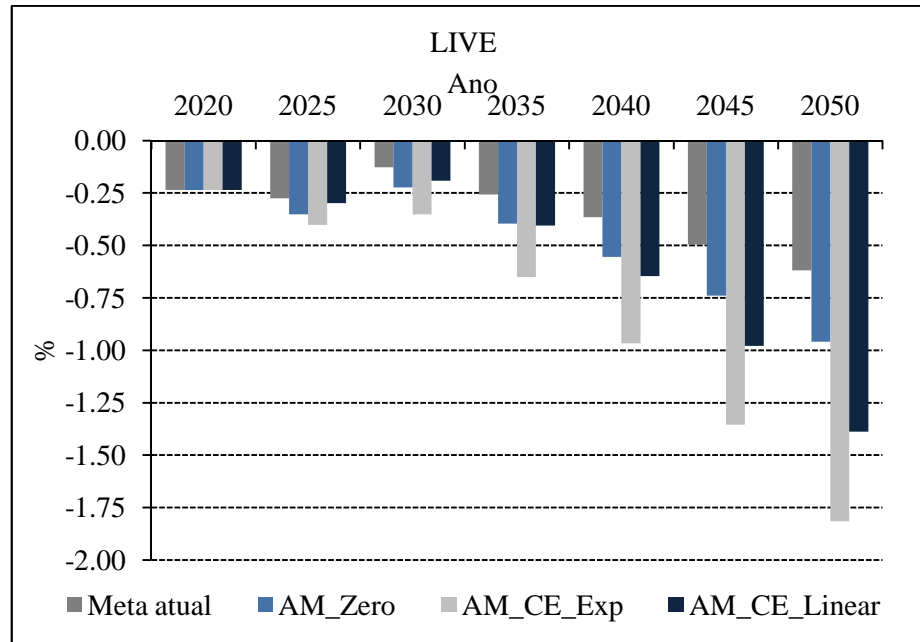


Gráfico 3 - Mudanças (%) no produto da pecuária nos cenários de referência em relação ao cenário de política

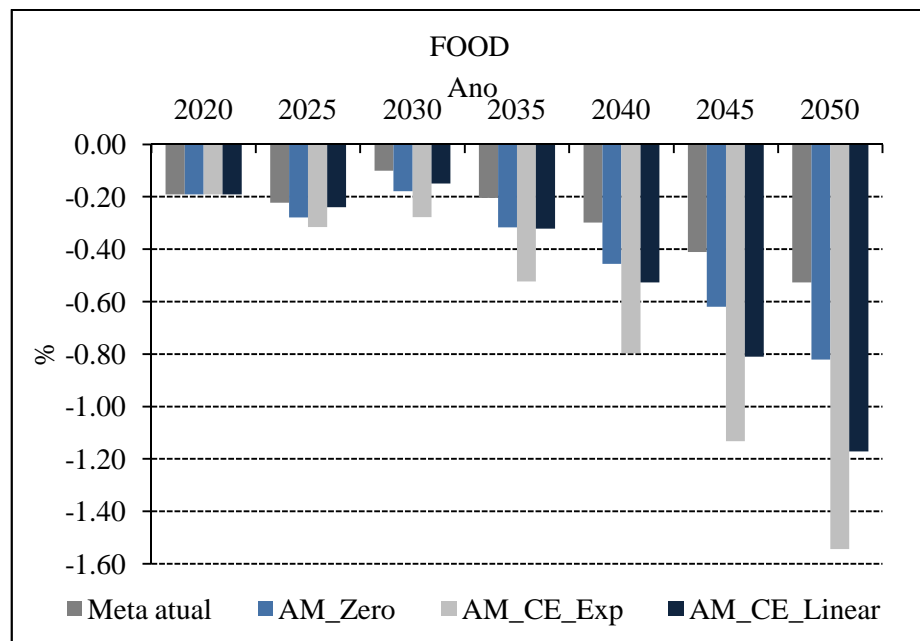


Gráfico 4 - Mudanças (%) no produto do setor de alimentos nos cenários de referência em relação ao cenário de política

Como se pode observar nos gráficos, as taxas de variações do produto agrícola (CROP), pecuário (LIVE) e da indústria de alimentos (FOOD) entre o cenário de referência e os cenários de redução do desmatamento são as mesmas para o ano de 2020, respectivo a cada setor – característica que se repetirá em todos os outros resultados apresentados. Isso porque a taxa de redução do desmatamento é a mesma em todos os cenários nesse ano e as expectativas

dos agentes são míopes (não consideram indicadores futuros para tomada de decisão no presente).

As variações em produção nesses setores são bastante similares em termos de direção e magnitude. No entanto, os gráficos mostram que as políticas de redução do desmatamento têm impactos pouco expressivos sobre o produto agropecuário e de alimentos, de -0,38 % em 2020 para o setor agrícola, de -0,23% para a pecuária e de -0,19% para o setor de alimentos, ambos no cenário AM_CE_Exp. O máximo de perdas chega a 1,87% para a agricultura, 1,81% para a pecuária e 1,54% para o setor de alimentos, em 2050 e no cenário AM_CE_Exp. Tais reduções não significam que o produto cresce a uma taxa negativa, mas que apenas crescem a uma taxa menor do que seria observado na ausência da política de redução do desmatamento.

Nessa análise também nota-se que as perdas na produção crescem no tempo, o que pode estar ligado à exaustão das terras livres para a agropecuária e o aumento nos custos de produção associados à necessidade de aumento na eficiência no uso da terra, como investimentos em capital, trabalho e outros insumos.

Outro aspecto interessante é que as perdas na agricultura são maiores do que na pecuária, mesmo esta última sendo a maior responsável pelos desmatamentos. Isso pode ser reflexo da grande extensão de áreas de pastagens mal utilizadas ou subutilizadas no país, que podem ser usadas mais eficientemente, a um custo relativamente mais baixo que a intensificação das culturas. Uma vez que a agricultura é mais intensiva no fator terra do que a pecuária, sendo menor a sua capacidade de substituir terra por outros insumos. Quanto ao setor de alimentos, dada a interdependência existente entre ele e a agropecuária, pela utilização de produtos agropecuários como insumos intermediários, seus resultados podem ser explicados pelo desempenho desfavorável apresentado pela agropecuária.

Além disso, como eram esperados, os resultados são piores para o cenário em que a redução do desmatamento a zero até 2050 ocorre de forma exponencial tanto na Amazônia quanto no Cerrado, pois é o cenário no qual o choque dado ao modelo permitiu o menor montante de desmatamento no país, como apresentado na Tabela 13.

4.2 Mudanças no uso da terra

Antes de continuar analisando alguns indicadores econômicos, é importante verificar como o uso da terra é alterado após os choques de reduções dos desmatamentos, pois isso pode ajudar a esclarecer melhor os resultados obtidos dos indicadores econômicos. Os próximos seis gráficos mostram a trajetória do uso da terra para cada fim nos cinco cenários simulados.

Primeiramente, pode-se observar a trajetória das áreas de vegetação natural NFORS e NGRASS no cenário de referência e nos cenários de política de redução do desmatamento. O Gráfico 5, que representa o caso das áreas de vegetação natural da Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal, mostra que o desmatamento nessas áreas seria crescente na ausência de políticas de redução do desmatamento, representado pela curva descendente REF. Até o último período simulado, o acumulado de desmatamento evitado é de quase 17,2 milhões de hectares (4% do total da área NFORS em 2010) na comparação entre as áreas do cenário REF e dos cenários AM_Zero e AM_CE_Exp (que possuem a mesma taxa de desmatamento para NFORS), de 15 milhões ha em relação ao cenário Meta Atual, e de 12,8 milhões ha em relação ao cenário AM_CE_Linear. Dadas as características do solo no Pantanal, que não são favoráveis ao uso antrópico, como a agropecuária, e a já reduzida área da Mata Atlântica, conclui-se que a maior parte da retirada da cobertura vegetal registrado no cenário REF deve ocorrer, de fato, em áreas da Amazônia.

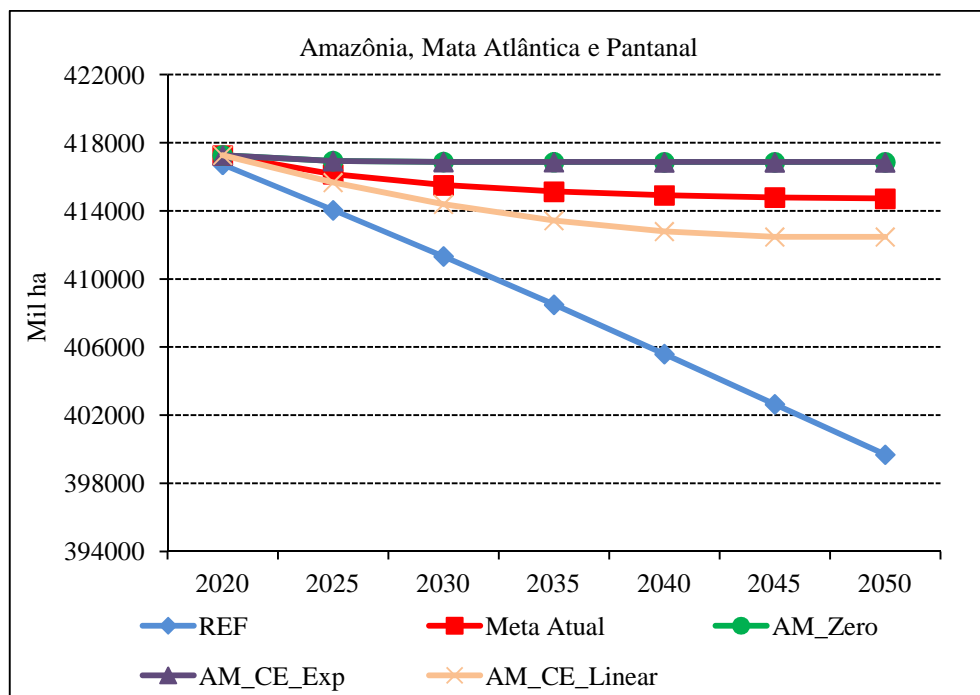


Gráfico 5 – Trajetória do total das áreas de vegetação natural na categoria NFORS

No caso da categoria NGRASS (Gráfico 6), constituída por Cerrado, Caatinga e Pampas, o diferencial de áreas desmatadas entre o cenário de referência e os cenários de políticas é maior do que no caso NFORS. O desmatamento evitado entre o cenário REF e Meta Atual chega a mais de 36 milhões de hectares, mais de 40 milhões ha em relação ao cenário AM_CE_Linear, e mais de 51 milhões ha (54% do total da área NGRASS em 2010) em relação ao cenário AM_CE_Exp. Esse resultado reflete as altas taxas de desmatamento no cenário de referência do modelo EPPA, que prevê poucas mudanças em relação às taxas de desmatamento observadas desde a década de 1980 no bioma Cerrado, na ausência de políticas públicas específicas para tal. Contudo, os resultados sugerem que a introdução de políticas para limitar o desmatamento é fundamental para a preservação da biodiversidade do bioma Cerrado.

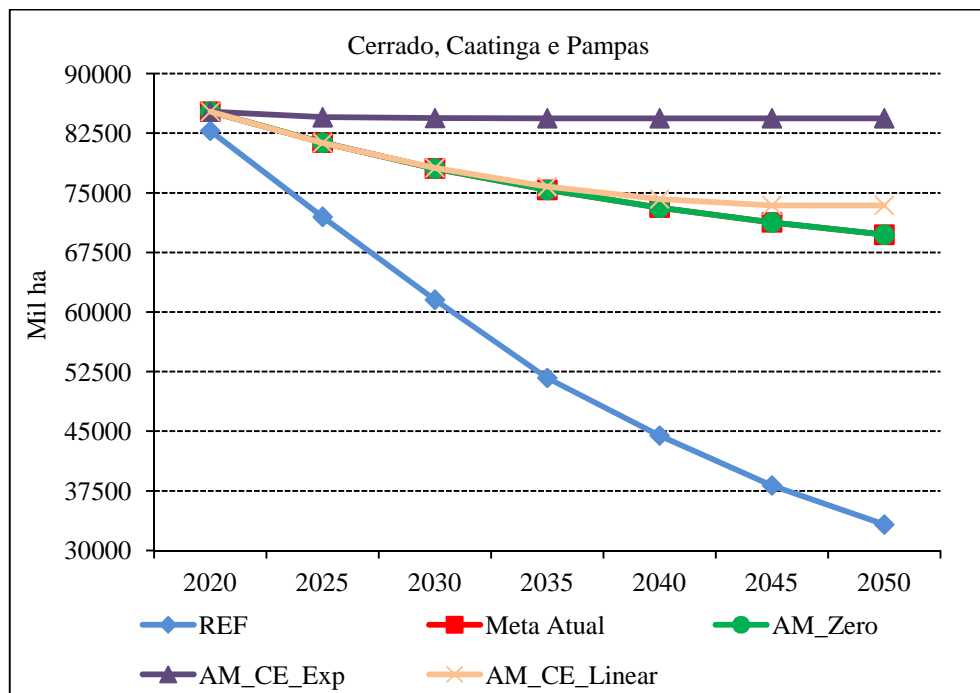


Gráfico 6 – Trajetória do total das áreas de vegetação natural na categoria NGRASS

Quanto às áreas utilizadas para culturas (CROP), o Gráfico 7 mostra que o montante de áreas para fins agrícolas não sofre impactos expressivos, sendo que as trajetórias dos cenários de redução do desmatamento apenas se deslocam da trajetória do cenário de referência a partir de 2035. A maior variação ocorre entre os cenários REF e AM_CE_Exp (como é o esperado, sempre), de quase 7 milhões de hectares em 2050.

Já no caso da pecuária, as políticas de redução do desmatamento acarretaram mudanças significativas sobre o montante de terras utilizadas por essa atividade (Gráfico 8). Enquanto a

trajetória do cenário REF é crescente até o fim do período, as trajetórias dos cenários de política ligeiramente decrescem a partir de 2045. Isso sugere uma significativa intensificação do uso das pastagens, já que a redução na produção pecuária é pouco expressiva, como visto na subseção anterior. A diferença entre o cenário REF e o cenário AM_CE_Exp é de quase 38 milhões de hectares, e de aproximadamente 30 milhões ha em relação aos demais cenários, que apresentam resultados semelhantes.

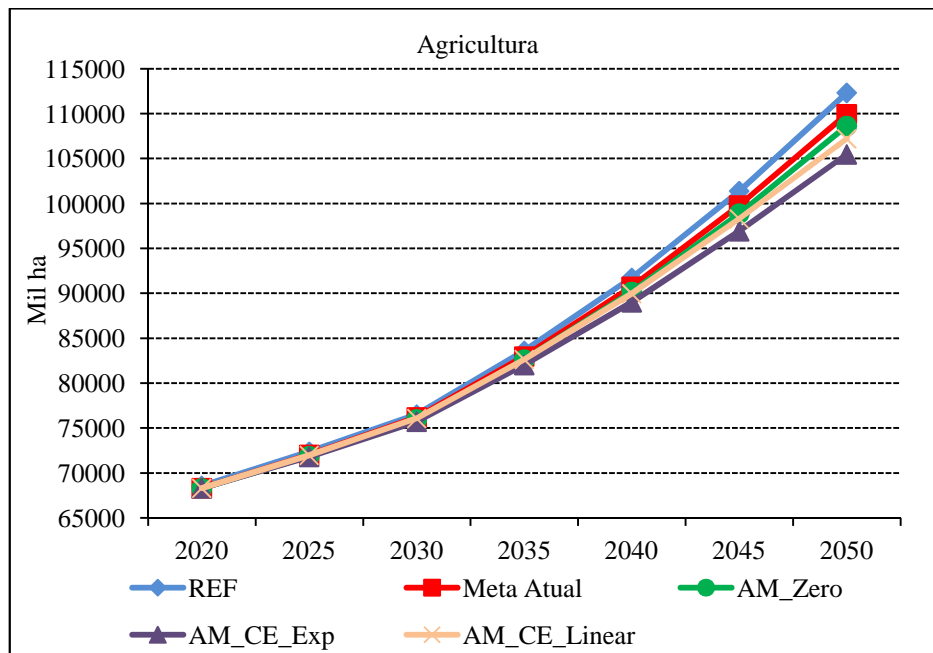


Gráfico 7 – Trajetória do total das áreas utilizadas por culturas

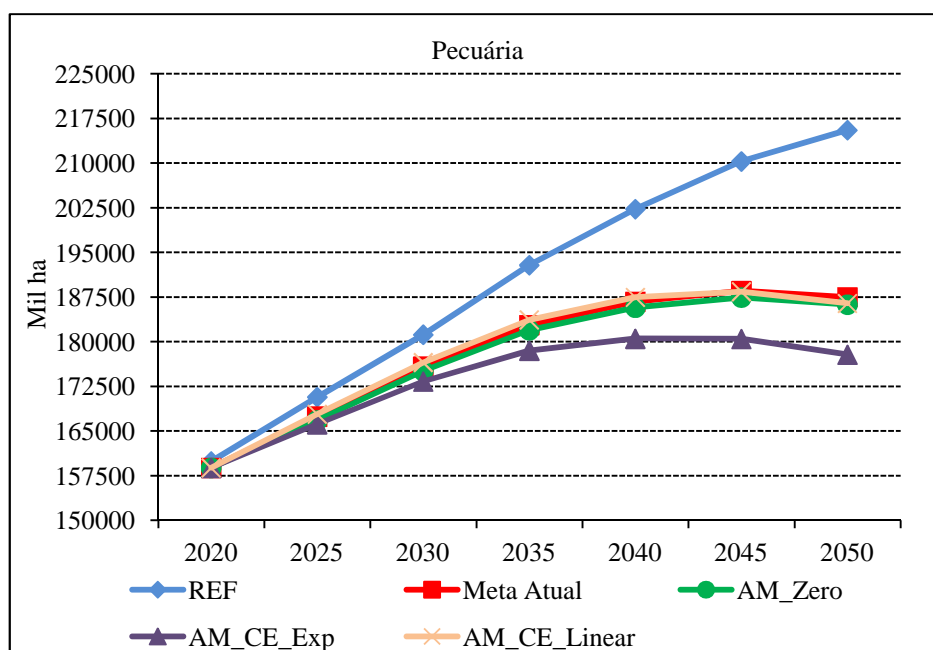


Gráfico 8 – Trajetória do total das áreas utilizadas pela pecuária

Um dos usos da terra mais importante de ser analisado nesse contexto é a categoria FORS, que engloba as áreas de vegetação secundária, florestas plantadas, e áreas de cultivo e pastagens abandonadas ou em processo de degradação que possuam vegetação secundária em recuperação, pois é onde a atividade agropecuária pode se expandir sem pressionar as áreas de cobertura vegetal original. O Gráfico 9 mostra que há uma tendência de redução das áreas FORS, mesmo sob a ausência de políticas de controle do desmatamento, no cenário REF. No entanto, sob os cenários de política, o total dessas áreas chega a ter 23,7 milhões de hectares a menos do que no cenário REF, em 2050. Esse resultado revela a importância dessas áreas para garantir a expansão da agricultura brasileira mesmo diante de restrições à incorporação de novas áreas agrícolas, que pode ser feita via adoção de tecnologia e melhores práticas em áreas já antropizadas, mas atualmente subaproveitadas.

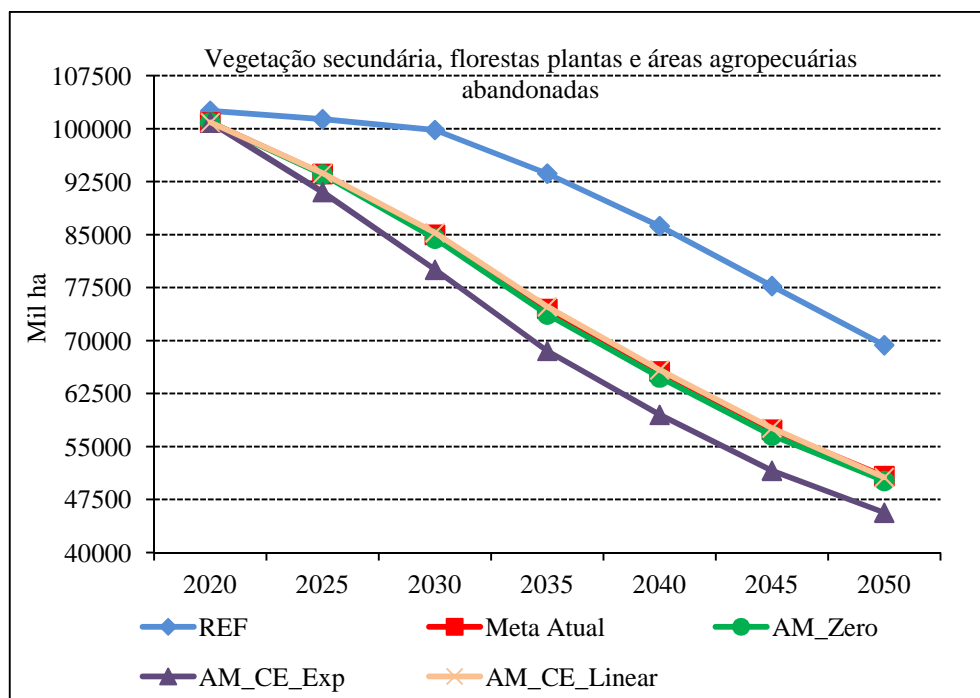


Gráfico 9 – Trajetória do total das áreas utilizadas pela categoria FORS

4.3 Balança comercial setorial

Os resultados do modelo também possibilitam avaliar o desempenho da Balança Comercial dos setores agropecuários e de alimentos, e os eventuais ganhos ou perdas de competitividade

desses setores. A Tabela 14 apresenta os resultados de variações nas exportações dos setores agrícolas (CROP) e de alimentos (FOOD) nos diversos cenários de redução do desmatamento, em relação às do cenário de referência, e a Tabela 15, as variações nas importações. Aqui é considerada apenas a balança comercial de alimentos e da agricultura, porque nesse caso os resultados obtidos para a pecuária se referem a animais vivos, e as vendas ou compras de carnes são contabilizadas em alimentos.

Tabela 14 – Mudanças nas exportações de alimentos e da agricultura nos cenários de política em relação ao cenário de referência – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP							
Meta Atual	-0,93	-0,96	-0,18	-0,41	-0,64	-0,92	-1,28
AM_Zero	-0,93	-1,10	-0,38	-0,70	-1,04	-1,51	-2,03
AM_CE_Exp	-0,93	-1,19	-0,63	-1,22	-1,92	-2,84	-3,90
AM_CE_Linear	-0,93	-1,01	-0,30	-0,71	-1,22	-1,94	-2,93
FOOD							
Meta Atual	-1,03	-1,13	-0,33	-0,67	-0,97	-1,32	-1,66
AM_Zero	-1,03	-1,34	-0,62	-1,08	-1,53	-2,03	-2,62
AM_CE_Exp	-1,03	-1,47	-0,98	-1,81	-2,71	-3,74	-4,95
AM_CE_Linear	-1,03	-1,19	-0,51	-1,09	-1,77	-2,67	-3,75

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 15 – Mudanças nas importações de alimentos e da agricultura nos cenários de política em relação ao cenário de referência – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP							
Meta Atual	0,44	0,44	0,06	0,14	0,24	0,37	0,54
AM_Zero	0,44	0,49	0,14	0,26	0,41	0,64	0,88
AM_CE_Exp	0,44	0,53	0,24	0,47	0,78	1,24	1,74
AM_CE_Linear	0,44	0,46	0,11	0,25	0,48	0,81	1,28
FOOD							
Meta Atual	0,64	0,69	0,16	0,34	0,49	0,68	0,85
AM_Zero	0,64	0,80	0,32	0,56	0,80	1,07	1,38
AM_CE_Exp	0,64	0,88	0,51	0,96	1,44	2,00	2,66
AM_CE_Linear	0,64	0,73	0,26	0,56	0,93	1,41	2,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

De um modo geral, as mudanças nas exportações refletem as direções das mudanças na produção, e como a produção desses setores é menor com o estabelecimento da política, as vendas para o exterior diminuem e as compras do exterior aumentam. No entanto, a introdução de metas de desmatamento zero para a Amazônia e o Cerrado a taxas

exponenciais, impõe uma redução de apenas 3,9% das exportações agrícolas e o aumento de 1,74% de suas importações, ambos em 2050, enquanto que para o setor de alimentos, essa redução das exportações é de quase 5% e o aumento das importações, de 2,66%. Essas variações apesar de pouco expressivas, revelam um certo grau de perda da competitividade desses setores.

4.4 Preços setoriais

Outro indicador para avaliação do desempenho econômico são os preços dos bens na economia, aqui mensurados como o preço da oferta dos bens nacionais para o mercado doméstico, excluindo as exportações e incluindo as importações. Diversos efeitos podem influenciar o comportamento dos preços, nesse caso seriam: o encarecimento das produções agropecuárias devido ao processo de intensificação do uso do solo e/ou a recuperação de terras degradadas para esses fins, e a diminuição da oferta desses setores. Para a indústria de alimentos, mudanças em preços poderiam ser explicadas pelas alterações nos preços dos insumos provenientes dos setores de culturas e pecuária.

Entretanto, como exposto na Tabela 16, os resultados obtidos mostram que os preços dos bens ofertados domesticamente não sofrem variações expressivas com a introdução das metas de redução do desmatamento. As variações nos preços do setor agrícola e de alimentos sofrem no máximo aumento de 1% e 1,14%, respectivamente, em 2050, no cenário AM_CE_Exp. Já o setor pecuário apresenta aumentos mais relevantes, com aumentos de até 5% em 2050 no cenário de redução exponencial nas taxas de desmatamento, que indicam um encarecimento da produção no processo de intensificação das pastagens, mais fortemente observável nesse setor do que na produção de culturas, como sugerem os resultados do uso da terra. Esses aumentos de preço da pecuária, contudo, não se refletem de forma expressiva nos preços dos alimentos finais, que se elevam em no máximo 1,14%, uma vez que a composição deste setor não inclui apenas os produtos agropecuários, mas também outros insumos intermediários e fatores produtivos.

Tabela 16 – Variações dos preços de oferta doméstica entre os cenários de política e o cenário de referência – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP							
Meta Atual	-0,05	-0,03	0,07	0,12	0,18	0,25	0,33
AM_Zero	-0,05	0,00	0,11	0,19	0,28	0,40	0,52
AM_CE_Exp	-0,05	0,02	0,17	0,31	0,49	0,73	1,00
AM_CE_Linear	-0,05	-0,02	0,10	0,19	0,32	0,50	0,75
LIVE							
Meta Atual	0,05	0,23	0,43	0,74	1,02	1,35	1,58
AM_Zero	0,05	0,43	0,70	1,12	1,54	2,00	2,48
AM_CE_Exp	0,05	0,55	1,03	1,81	2,66	3,63	4,71
AM_CE_Linear	0,05	0,29	0,59	1,13	1,77	2,62	3,56
FOOD							
Meta Atual	-0,05	-0,02	0,10	0,17	0,24	0,32	0,38
AM_Zero	-0,05	0,03	0,16	0,26	0,36	0,48	0,60
AM_CE_Exp	-0,05	0,06	0,24	0,42	0,62	0,87	1,14
AM_CE_Linear	-0,05	0,00	0,14	0,26	0,41	0,62	0,86

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.5 PIB

O gráfico 10 mostra a variação nos resultados projetados para o PIB nos cenários de redução do desmatamento em relação aos valores do cenário de referência. Os resultados mostram que a política de limitação dos desmatamentos tem impactos pouco expressivos sobre o PIB brasileiro. Inicialmente, a política delineada para 2020, o reduz em cerca de apenas 0,03%, e posteriormente, as perdas aumentam ao longo do tempo. No entanto, chegam a no máximo - 0,15% no cenário AM_CE_Exp.

Esse comportamento do PIB reflete o desempenho dos setores agropecuários e de alimentos, bem como dos preços e da balança comercial, que também foram afetados de forma pouco expressiva, como apresentado anteriormente. Além disso, as magnitudes dos resultados sobre o PIB também sinalizam que os custos de produção associados ao aumento na eficiência do uso da terra e de implementação das políticas de desmatamento não são elevados.

A quebra na trajetória da variação das perdas em 2025 pode ser atribuída à utilização das áreas da categoria FORS. No cenário de referência, a disponibilidade dessas áreas declina mais suavemente do que nos cenários de política entre 2020 e 2030, conforme visto no Gráfico 9. Com isso, maiores gastos em melhoria dessas terras são exigidos inicialmente,

quando introduzido as políticas de restrição do desmatamento, e conseqüentemente, maiores perdas de produção setorial e de PIB.

Ademais, é importante ressaltar que esses resultados não levam em conta os benefícios associados ao controle dos desmatamentos, ou seja, à redução nos possíveis danos e prejuízos que seriam causados pela perda da biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa e suas conseqüentes mudanças no clima, limitação ou interrupção de fornecimento de outros serviços ambientais, entre outros, no cenário de referência REF, o que caracterizaria uma análise de custo-benefício. Dado a dificuldade que a ciência possui em identificar e mensurar em termos econômicos todos esses possíveis prejuízos, tais benefícios não são considerados em valores monetários no modelo EPPA, limitando a capacidade de análises do tipo custo-benefício. Com isso, o modelo EPPA apenas permite análises de custo-efetividade das políticas, em outras palavras, mensura apenas os custos associados a uma determinada meta de redução do desmatamento, sem auferir os benefícios de tal meta em termos de prejuízos evitados.

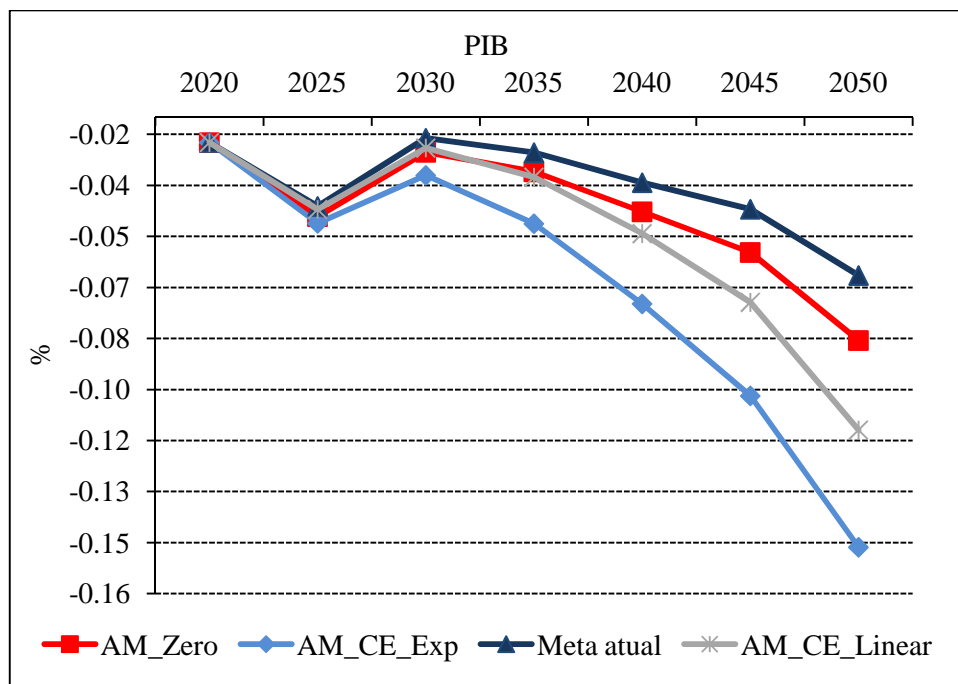


Gráfico 10 – Mudanças (%) no PIB nos cenários de redução do desmatamento em relação ao cenário de referência

4.6 Impactos sobre o bem-estar

A mudança em bem-estar (mensurada na forma de variação equivalente Hicksiana¹¹) é um bom indicativo de como os impactos agregados esperados afetam o nível de conforto e satisfação das famílias de um país, levando em consideração todas as mudanças em preços de bens e serviços e dos fatores de produção, que em última instância determinam a renda das famílias. A Tabela 17 mostra os resultados das mudanças em bem-estar na economia brasileira dos cenários de redução do desmatamento em relação ao cenário de referência REF.

Tabela 17 – Mudanças em bem-estar entre os cenários de política e o cenário REF – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Meta Atual	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04
AM_Zero	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04
AM_CE_Exp	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07
AM_CE_Linear	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que a inclusão de metas de redução do desmatamento trouxeram pequenos ganhos de 0,05% em termos de bem-estar em todos os cenários de política, nos períodos de 2020 e 2025. Mas, a partir de 2030 são registrados perdas que variam entre -0,01% em todos os cenários, a no máximo -0,07% no cenário AM_CE_Exp, em 2050. Esses resultados representam impactos modestos, pouco relevantes para uma análise econômica mais profunda. Com isso, conclui-se que a adoção de metas de redução dos desmatamentos não deve implicar em grandes perdas econômicas e sociais para o Brasil em relação às grandes áreas que serão preservadas.

4.7 Áreas florestais em outras partes do mundo

Por fim, pode-se verificar se a redução do desmatamento no Brasil não ocorre concomitantemente com o aumento dos desmatamentos em regiões e países que ainda possuem extensas áreas de florestas naturais e savanas em região tropical, como a África, a América Latina (exceto Brasil) e países do sul da Ásia (considerados nas Regiões “Leste Asiático” e “Resto da Ásia” do modelo EPPA). A Tabela 18 mostra a variação das áreas de florestas nessas regiões em cada cenário, em 2050, obtida pela simulação do modelo, em

¹¹ Variação na renda necessária para que o consumidor obtenha o mesmo nível de utilidade que tinha antes da alteração nos preços relativos.

relação ao cenário de referência REF, ou seja, mostra o aumento do desmatamento com a introdução da política no Brasil.

Conforme se pode observar, as perdas de áreas florestais e de savanas em outras regiões do mundo no cenário de política em relação ao cenário de referência são bem pouco expressivas comparada ao desmatamento evitado no Brasil. Isso significa que a economia brasileira consegue absorver, com ganhos de produtividade, a perda de área para expansão da agropecuária e, portanto, pode contribuir positivamente para diminuir o problema do desmatamento e suas emissões sem comprometer a oferta mundial de alimentos. Isso ocorre à custa de perda de algum grau de vantagem comparativa por parte do Brasil, mas não a ponto de comprometer o futuro da agropecuária brasileira.

Tabela 18 – Desmatamento evitado no Brasil e variação no desmatamento em outras regiões do mundo entre os cenários de política e o cenário de referência, em 2050 – em mil ha

Cenário	Desmatamento evitado	Crescimento do desmatamento
	Brasil	Outras regiões
NFORs		
Meta Atual	15028	118
AM_Zero	17174	185
AM_CE_Exp	17174	348
AM_CE_Linear	12786	261
NGRASS		
Meta Atual	36477	22
AM_Zero	36477	34
AM_CE_Exp	51125	63
AM_CE_Linear	40174	49

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.8 Subsídios à produção agropecuária

Um exercício interessante nesse contexto é a simulação de um subsídio a ser pago aos produtores agropecuários para que, diante de uma política de redução do desmatamento, mantivessem a produção no mesmo nível que na ausência de política. Como os impactos da implementação de restrições ao desmatamento sobre a economia brasileira não são expressivos, como visto nas subseções anteriores, para esse exercício de introdução dos subsídios apenas foram simulados os níveis de redução do desmatamento do cenário

AM_CE_Exp, pois foi o cenário que apresentou maiores impactos sobre a produção agropecuária.

A Tabela 19 mostra os valores dos subsídios que deveriam ser concedidos aos produtores dos setores agrícola e pecuário calculados pelo modelo EPPA. Aqui o subsídio se trata de uma taxa *ad valorem*, ou seja, como percentual do valor da produção, necessária para que não haja queda na produção do setor em relação à produção observada no cenário de referência. Por exemplo, se o modelo está apontando que o valor do subsídio para o setor agrícola em 2020 é de 0,3, isso significa que para cada US\$ 100 de produto agrícola, o produtor deve receber US\$ 0,3 (0,3 % do valor da produção).

Tabela 19 – Taxa de subsídio (%) paga aos produtores dos setores agrícola e pecuário

Setor	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	0,30	0,37	0,16	0,33	0,54	0,82	1,20
LIVE	0,42	0,88	0,92	1,68	2,47	3,40	4,46

Fonte: Resultados da pesquisa

Os resultados obtidos mostram que é baixo o valor do subsídio que deveria ser pago aos produtores agrícolas para manterem o mesmo nível de produção do cenário de referência, na presença de políticas de limitação do desmatamento. Neste caso, o subsídio chega a no máximo 1,2% do valor da produção no setor de culturas em 2050.

Embora a redução na produção pecuária seja similar à redução na agricultura, conforme apresentado no começo deste capítulo, o subsídio pago aos produtores pecuários é mais alto, passando de 0,42% do valor da produção em 2020, para 2,47% em 2040, e 4,46% em 2050. Isso ocorre porque, como já sugerido anteriormente, a intensificação na pecuária é mais forte nos cenários de políticas e, portanto, demanda mais recursos do que na produção de culturas. É interessante notar que os subsídios levam a uma queda na área de culturas, em relação ao cenário de referência, menor do que no cenário sem subsídios, enquanto a área de pecuária sofre queda um pouco maior (Tabela 20). Esse resultado é consequência do maior valor do produto do setor de culturas por unidade de área do que do produto pecuário, ou seja, a parcela do custo de produção com o fator terra é maior na produção de culturas. Dessa forma, diante de uma restrição em expansão da área total agropecuária e na presença de subsídios compensatórios específicos a cada setor, é mais vantajoso para a economia evitar a queda na área utilizada para produzir culturas e aumentar a intensificação no setor da pecuária. Para manter o nível de produção desses setores, então, maiores subsídios devem ser direcionados à pecuária do que ao setor de culturas.

Tabela 20 – Mudanças em áreas por categoria entre os cenários de políticas e o cenário de referência – em %

Categoria	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
AM_CE_Exp com subsídio							
CROP	-0,04	-0,35	-0,76	-1,45	-2,31	-3,50	-4,92
LIVE	-0,48	-2,40	-4,12	-7,19	-10,54	-14,10	-17,57
FORS	-2,12	-10,94	-20,39	-27,72	-32,18	-35,02	-35,87
AM_CE_Exp original							
CROP	-0,37	-0,79	-1,01	-1,89	-2,97	-4,41	-6,11
LIVE	-0,67	-2,67	-4,34	-7,45	-10,77	-14,18	-17,50
FORS	-1,60	-10,16	-19,81	-26,79	-30,97	-33,61	-34,18

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os efeitos sobre os indicadores econômicos das políticas de limitação do desmatamento simultaneamente à introdução dos subsídios obtidos pelo modelo são apresentados nas tabelas 21 e 22. Os resultados mostram as mudanças ocorridas no PIB, na medida de bem-estar, nas exportações e importações e nos preços dos bens ofertados domesticamente dos setores agropecuários e de alimentos, no cenário de subsídios e políticas de desmatamento em relação ao cenário de referência REF. Também são apresentadas as mudanças ocorridas no cenário original AM_CE_Exp, em que os subsídios não são aplicados, para facilitar a visualização comparativa entre esses cenários.

Tabela 21 – Mudanças no PIB e bem-estar entre o cenário de política de desmatamento e subsídio e o cenário de referência – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bem-estar							
Subsídio	0,07	0,08	0,02	0,04	0,05	0,07	0,10
AM_CE_Exp	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07
PIB							
Subsídio	-0,02	-0,03	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03
AM_CE_Exp	-0,03	-0,05	-0,04	-0,05	-0,07	-0,10	-0,15

Fonte: Resultados da pesquisa

De um modo geral, verifica-se que a concessão de subsídios à produção agropecuária na presença de políticas de redução do desmatamento é positiva para a economia brasileira. As perdas em PIB diminuem e se tornam praticamente nulas, chegando a no máximo -0,03% em 2050. As perdas, apesar de esperadas diante da distorção que o subsídio representa, são pouco expressivas devido à reduzida participação da agricultura no PIB do país e pelas pequenas

alíquotas necessárias para evitar a queda da produção agropecuária. A medida de bem-estar, por outro lado, melhora tanto em relação ao cenário de redução do desmatamento (sem subsídio) quanto ao cenário de referência, tornando-se positiva em todos os anos. Esse resultado sugere que o subsídio não só evita a queda na produção agropecuária¹², como também altera os preços relativos desses bens de forma a beneficiar o consumidor através da substituição de bens no consumo. Ou seja, diante da restrição na expansão da produção agropecuária, os subsídios às atividades dependentes da terra favorecem o produto mais intensivo neste fator (culturas), que também é relativamente mais importante na cesta de consumo das famílias¹³, em detrimento do produto menos intensivo (pecuária).

Tabela 22 – Mudanças em outros indicadores econômicos entre o cenário de política de desmatamento e subsídio e o cenário de referência – em %

Setor	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Exportações							
AM_CE_Exp com subsídio							
CROP	0,24	0,26	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,00
FOOD	-0,48	-0,49	-0,10	-0,23	-0,41	-0,64	-0,95
AM_CE_Exp original							
CROP	-0,93	-1,19	-0,63	-1,22	-1,92	-2,84	-3,90
FOOD	-1,03	-1,47	-0,98	-1,81	-2,71	-3,74	-4,95
Importações							
AM_CE_Exp com subsídio							
CROP	-0,22	-0,24	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01
FOOD	0,37	0,39	0,07	0,16	0,27	0,42	0,62
AM_CE_Exp original							
CROP	0,44	0,53	0,24	0,47	0,78	1,24	1,74
FOOD	0,64	0,88	0,51	0,96	1,44	2,00	2,66
Preço dos bens ofertados domesticamente							
AM_CE_Exp com subsídio							
CROP	-0,35	-0,35	0,01	-0,02	-0,05	-0,08	-0,15
LIVE	-0,42	-0,42	0,02	0,01	0,06	0,13	0,19
FOOD	-0,20	-0,19	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
AM_CE_Exp original							
CROP	-0,05	0,02	0,17	0,31	0,49	0,73	1,00
LIVE	0,05	0,55	1,03	1,81	2,66	3,63	4,71
FOOD	-0,05	0,06	0,24	0,42	0,62	0,87	1,14

Fonte: Resultados da pesquisa.

¹² A imposição do subsídio é modelada de forma a manter o mesmo nível de produção observado no cenário de referência, ou seja, não há mudança no quantum produzido pelos setores de cultura e pecuária em relação ao cenário de referência.

¹³ A participação de produtos do setor de culturas é bem maior no consumo das famílias do que a participação de produtos da pecuária, de cerca de 2,4% e 0,4%, respectivamente, uma vez que a maior parte do produto da pecuária (animais vivos) destina-se à indústria processadora de alimentos.

Os resultados obtidos para os preços dos bens nacionais ofertados no mercado doméstico dos setores agropecuários e de alimentos mostram que a introdução do subsídio evita aumentos em preços, com variação de preços negativa em 2020 e 2025, o que significa que nesses anos os preços no cenário de subsídio são menores do que no cenário REF, e a partir de 2030 a variação é positiva, porém, quase nula. No caso das culturas, o subsídio gera menores preços em relação ao cenário de referência, contribuindo para o pequeno aumento em bem-estar no cenário com subsídio.

Ademais, a competitividade das exportações brasileiras melhora, sofrendo perdas menores no cenário de subsídios do que no cenário AM_CE_Exp. As exportações do setor agrícola em 2050 praticamente não se alteram no cenário de subsídio em relação ao cenário REF, e no setor de alimentos a queda diminui de -4,95% no cenário AM_CE_Exp para -0,95% no cenário de subsídios, em 2050. O aumento das importações também é menor, de 0,62% em 2050 no setor de alimentos na presença de subsídios, contra 2,66% em 2050 no cenário sem subsídios.

Dessa forma, os resultados sugerem que uma alternativa para suavizar os impactos de políticas de limitação do desmatamento sobre a agropecuária e a economia brasileira pode ser a concessão de subsídios. Esses contribuiriam para arcar com os custos da intensificação da produção agropecuária e/ou recuperação de áreas degradadas, sem comprometer a produção e consumo de alimentos no país. Deve-se considerar que, no modelo, as despesas com os subsídios são diretamente arcadas pelo agente representativo, cuja restrição orçamentária é composta pela renda das famílias e pública. Desse modo, os subsídios contribuem para distorcer a economia, o que é confirmado pela queda no PIB em relação ao cenário de referência. Contudo, as mudanças em preços relativos no setor de culturas permite um leve incremento em bem-estar, devido a uma maior importância deste bem na cesta de consumo do que dos produtos da pecuária. No entanto, deve-se salientar que as mudanças percentuais em PIB e bem-estar são bem pouco expressivas, o que, por um lado, reforça o baixo poder distorcivo do subsídio sobre a economia na presença de restrições ao desmatamento, enquanto por outro, reduz a importância de se focar na magnitude do resultado encontrado.

4.9 Análise de sensibilidade

A representação das tecnologias de produção agropecuária, das elasticidades de mudanças no uso da terra e expansão da fronteira agrícola na abordagem de equilíbrio geral computável requer o emprego de pressuposições e parâmetros econômicos muitas vezes não disponíveis na literatura e, portanto, passíveis de questionamento e sujeitos a controvérsias e testes de validade. Por isso, uma questão primordial que surge com o uso do instrumental de EGC é a robustez dos resultados diante de diferentes conjuntos de parâmetros. Além disso, existem divergências consideráveis na mensuração das categorias de uso da terra entre as bases de dados de diferentes fontes e pesquisadores brasileiros, o que torna a utilização das mesmas questionáveis e preterida em favor da base de dados do TEM.

Nesse sentido, é importante analisar como e quanto a alteração de alguns desses parâmetros e de variáveis exógenas influenciam os resultados endógenos. Dessa forma, procurou-se realizar alguns testes simples de sensibilidade e apresentar os resultados mais relevantes desses testes, considerando apenas os cortes no desmatamento do cenário de política de desmatamento zero da Amazônia e do Cerrado até 2050, a taxas exponenciais.

No primeiro teste de sensibilidade, a elasticidade de substituição de terra por outros insumos na produção de culturas e pecuária foi reduzida em 50%, diminuindo a capacidade de intensificar a produção pecuária e agrícola. No segundo teste, considera-se que a elasticidade de transformação de áreas de vegetação natural (florestas naturais e campos naturais) em áreas de produção agropecuária nas funções de transformação do uso da terra é 100% maior do que a utilizada inicialmente no modelo. Para finalizar, no terceiro teste é redefinida a base de dados das áreas dos diferentes tipos de categoria de uso da terra no Brasil. Ao invés de usar os dados do modelo TEM, são utilizados os dados do Portalbio para NFORS e NGRASS, os dados do IBGE para culturas (CROP) e pastagens (LIVE) e o restante, por resíduo, equivale às áreas de silvicultura, florestas plantadas e florestas secundárias em regeneração (FORS). Então, na nova base de dados o total de áreas para a categoria CROP é de 65,7 milhões de ha, 399,8 milhões de ha para NFORS, 180,6 milhões de ha para NGRASS, 162 milhões de ha para LIVE e 24 milhões de ha para FORS.

A Tabela 23 mostra áreas por categoria de uso da terra em 2050, tanto no cenário de referência do modelo original e nos cenários de referência dos testes de sensibilidade, quanto no cenário de redução do desmatamento do cenário de AM_CE_Exp e nos cenário de política dos testes de sensibilidade. As tabelas de 24 a 26 apresentam os resultados das mudanças entre o cenário de redução do desmatamento e o cenário de referência para bem-estar, PIB, produção e preços dos setores de culturas e pecuário, a partir das diferentes situações descritas

para as elasticidades e base de dados do uso da terra, bem como os resultados obtidos no modelo original representado por AM_CE_Exp.

Tabela 23 – Áreas por categoria de uso da terra entre os cenários simulados nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas em 2050 – em mil ha

Categorias	Modelo original	Redução da elasticidade de substituição dos fatores	Aumento da elasticidade de transformação	Alteração da base de dados
Cenário de referência				
CROP	112.331	174.290	113.097	104.462
LIVE	215.567	186.663	220.770	200.290
FORS	69.375	64.814	69.384	16.916
NGRASS	33.261	10.062	36.457	134.315
NFORS	399.694	394.463	390.520	375.327
Cenário de política				
CROP	105.472	138.923	105.839	94.799
LIVE	177.846	144.856	179.504	156.629
FORS	45.662	52.223	46.603	13.708
NGRASS	84.386	76.744	81.007	172.831
NFORS	416.868	417.572	417.281	393.351

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 24 – Mudanças em bem-estar e no PIB nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %

Teste	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	PIB						
AM_CE_Exp	-0,03	-0,05	-0,04	-0,05	-0,07	-0,10	-0,15
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	-0,02	-0,08	-0,13	-0,27	-0,44	-0,63	-0,87
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	-0,01	-0,03	-0,03	-0,04	-0,06	-0,09	-0,13
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	0,00	-0,01	-0,04	-0,07	-0,10	-0,14	-0,19
Bem-estar							
AM_CE_Exp	0,05	0,05	-0,01	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	0,00	0,00	-0,04	-0,06	-0,14	-0,26	-0,46
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	0,02	0,02	0,00	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	-0,04	-0,04	-0,01	-0,01	-0,02	-0,05	-0,08

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 25 – Mudanças na produção do setor agropecuário nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %

Teste	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	CROP						
AM_CE_Exp	-0,38	-0,50	-0,29	-0,56	-0,88	-1,32	-1,87
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	-0,54	-1,58	-2,42	-5,44	-7,99	-10,65	-12,57
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	-0,17	-0,34	-0,30	-0,58	-0,90	-1,37	-1,98
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	0,07	-0,35	-0,78	-1,21	-1,63	-2,19	-2,85
LIVE							
AM_CE_Exp	-0,23	-0,40	-0,35	-0,65	-0,97	-1,35	-1,81
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	-0,69	-1,81	-2,66	-5,37	-7,32	-9,07	-10,06
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	-0,10	-0,31	-0,35	-0,65	-0,99	-1,43	-1,95
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	-0,02	-0,49	-0,87	-1,29	-1,67	-2,13	-2,65

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 26 – Mudanças nos preços dos produtos agropecuários nos testes de sensibilidade sob pressuposições alternativas – em %

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	CROP						
AM_CE_Exp	-0,05	0,02	0,17	0,31	0,49	0,73	1,00
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	0,24	0,68	1,17	2,53	3,75	5,13	6,21
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	-0,02	0,07	0,17	0,31	0,49	0,73	1,06
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	0,07	0,26	0,40	0,65	0,90	1,21	1,59
LIVE							
AM_CE_Exp	0,05	0,55	1,03	1,81	2,66	3,63	4,71
Redução da elasticidade de substituição da terra por outros insumos	1,53	4,08	6,35	12,35	16,81	20,71	22,39
Aumento da elasticidade de transformação de áreas naturais em áreas para a agropecuária	0,01	0,58	0,99	1,78	2,68	3,82	5,07
Alteração da base de dados do uso da terra no Brasil	0,23	1,41	2,38	3,65	4,71	5,85	7,08

Fonte: Resultados da pesquisa.

O diferencial de terras entre as categorias de uso da terra do teste de redução da elasticidade de substituição de terra por outros insumos (energia e valor adicionado) mostra que, mesmo na ausência de políticas de redução do desmatamento, a economia se organiza de modo a intensificar o processo produtivo da pecuária para liberar terras para a agricultura, que é mais intensiva no fator terra e possui maior valor relativo por unidade de terra. Então, as áreas utilizadas pela pecuária são menores, as áreas agrícolas consideravelmente maiores e os desmatamentos na Amazônia e em especial no Cerrado aumentam. Como as possibilidades de intensificação na produção pecuária já ocorrem no cenário de referência, com a introdução da política de limitação do desmatamento, a margem de intensificação da produção é menor e a produção cai 10% no cenário de política em 2050, valor bem superior ao obtido na formulação original do modelo. Como consequência da redução da oferta, os preços dos produtos da pecuária sobem consideravelmente, mais de 22% em 2050. A redução na produção de culturas e o aumento de preços também são superiores em comparação a formulação em que a elasticidade de substituição de terra por outros insumos é maior e assim, mais fácil de intensificar a produção.

Embora a diminuição da capacidade de intensificação da agropecuária têm efeitos setoriais expressivos, os efeitos agregados não são elevados como mostram os resultados do PIB e bem-estar, isso porque a agropecuária representa uma pequena fração do PIB. No entanto são superiores em relação à formulação original do modelo. Esses resultados revelam que os impactos setoriais e sobre o uso da terra são bastante sensíveis à representação da capacidade de intensificação da agropecuária brasileira. O senso comum é de que essa capacidade é elevada, principalmente na pecuária brasileira, devido à cultura da pecuária extensiva e de baixa tecnologia. Ainda, a elevada heterogeneidade da produção agrícola no país sugere um grau considerável de possibilidade de intensificação de culturas no país. Contudo, dada a sensibilidade do modelo à elasticidade de substituição entre terra e outros insumos, recomenda-se futuras análises e estimativas a respeito desse parâmetro, de forma a aprimorar a capacidade e robustez dos modelos de equilíbrio geral como ferramentas de estudo do tema. Quanto à análise de sensibilidade da elasticidade de transformação que governa a conversão das áreas naturais em áreas de produção agropecuária, os resultados revelam que no cenário de referência as áreas utilizadas pela pecuária aumentam sob as áreas da Amazônia, que registra maior desmatamento, enquanto no Cerrado essa expansão é menor. A pecuária se torna mais extensiva, já que a produção não aumenta na mesma proporção que as áreas utilizadas. As áreas de culturas também aumentam mais do que a produção. A maior elasticidade de transformação, portanto, torna a expansão sobre o fator terra bem mais fácil e

barata, estimulando a “extensificação” das atividades agropecuárias. Com a introdução da política de desmatamento, as variações na produção agropecuária são bastante similares às observadas na formulação original do modelo, apesar de reduzirem em termos percentuais um pouco mais ao longo do tempo do que em relação ao modelo original, uma vez que a política é mais restritiva na Amazônia, região onde a fronteira agrícola registrava maior expansão, do que no Cerrado.

Da mesma forma os resultados sobre o PIB e bem-estar são praticamente os mesmos em relação à formulação original do modelo, mas ainda negativos. Esses resultados evidenciam que os impactos da redução do desmatamento mensurados pelo modelo são pouco sensíveis às variações na elasticidade de transformação de áreas de vegetação natural, o que credita certa robustez ao mesmo, independente da trajetória de referência do uso da terra determinada a partir dessa elasticidade.

Já o teste de sensibilidade da base de dados mostra que o uso da terra se altera expressivamente em relação à formulação do modelo original. No entanto, os impactos da redução do desmatamento sobre as variáveis econômicas não apresentam mudanças substanciais em relação à formulação original do modelo, principalmente no que diz respeito aos resultados macroeconômicos sobre o PIB. Os impactos sobre a produção setorial e preços de culturas são mais sensíveis, e em geral mais intensos (em mais 0,98 pontos percentuais e 0,59 pontos percentuais de queda, respectivamente). Na pecuária, a produção diminui em mais 0,84 pontos percentuais, mas os preços sobem em mais 2,37 pontos percentuais, isso porque o aumento nas áreas da pecuária no cenário de referência da base de dados alternativa sugere que a produção da pecuária é mais extensiva do que na formulação original do modelo. Com isso, a intensificação na produção no cenário de política é maior, demandando mais recursos. Apesar das variações mais expressivas quando do uso da base de dados alternativa de uso da terra, as diferenças em magnitudes não revelam mudanças expressivas nos resultados. Indicando que, mesmo diante de uma elevada incerteza sobre a base de dados de uso da terra mais adequada para alimentar o modelo, as conclusões iniciais do estudo, de impactos modestos sobre a produção agropecuária e pouco expressivos sobre a economia do país diante de políticas de redução do desmatamento, permanecem as mesmas.

Por fim, nota-se que o parâmetro de elasticidade de substituição da terra por outros insumos deve ser encarado com maior cautela, uma vez que as magnitudes das alterações podem desencadear mudanças setoriais expressivas nos resultados do modelo. No entanto, os resultados da análise da introdução de política de desmatamento não são expressivamente sensíveis à alteração na elasticidade de transformação das áreas naturais em áreas agrícolas. A

alteração nos dados iniciais de uso da terra no modelo referente ao Brasil também não provocam mudanças consideráveis nos custos da política de desmatamento.

Considerações finais

Esse trabalho objetivou estudar os impactos econômicos de políticas de limitação do desmatamento sobre os setores agropecuário e de alimentos, e a economia nacional. Mais especificamente, analisou-se como determinadas variáveis econômicas, como o nível de atividade dos setores agropecuários, os níveis de preços dos alimentos, os fluxos comerciais e o produto agregado, respondem à simulação de alguns cenários de redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado. Tais cenários consideram as metas do governo de redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal até 2020 (em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005), e a redução de 40% dos índices anuais de desmatamento no Bioma Cerrado (em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008). A partir de 2020 foram considerados alguns possíveis cenários de controle do desmatamento como: a manutenção da taxa de desmatamento de 2020 respectivas a Amazônia e ao Cerrado; reduções a taxas exponenciais e lineares dos desmatamentos no Cerrado e na Amazônia até que seja atingindo o desmatamento zero em 2050; e manutenção da taxa de desmatamento de 2020 para o Cerrado e, simultaneamente, redução exponencial do desmatamento na Amazônia até atingir o desmatamento zero em 2050.

Uma breve revisão da literatura sobre a ocupação territorial da Amazônia e do Cerrado mostrou que o processo de remoção da cobertura vegetal da Amazônia iniciou com grandes projetos agropecuários, madeireiros e mineradores promovidos pelos governos militares. No entanto, a partir da década de 1980, o desmatamento da região seguiu um processo inercial em parte devido à alta rentabilidade da pecuária nessas áreas (diferentemente da agricultura que enfrenta barreiras geo-ecológicas), e sob a apropriação de terras públicas. Já no Cerrado, um processo de ocupação mais consistente foi iniciado a partir da década de 1950, com a construção de Brasília. Porém, não foi a ocupação urbana que mais causou impactos ambientais a região, mas sim a expansão da atividade agropecuária, mais fortemente, a partir da década de 1970.

Para realizar as simulações, optou-se por utilizar um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico recursivo, o *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA) desenvolvido pelo MIT. A metodologia de equilíbrio geral foi escolhida por se esperar que políticas de redução do desmatamento sejam capazes de gerar efeitos de equilíbrio geral de amplo alcance em termos de dimensões geográficas e econômicas. No modelo EPPA, a concorrência entre os diferentes usos da terra é explícito e dividido em cinco categorias: pastagens, culturas,

produção florestal e matas secundárias (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais.

De modo a melhor refletir as estatísticas produzidas por instituições nacionais, os dados iniciais de uso da terra do modelo EPPA, definidos pelo modelo de ecossistemas terrestre, TEM, foram comparados com os dados do Portalbio do Ministério do Meio Ambiente e do Censo Agropecuário de 2006, na qual se mostraram compatíveis. Ademais, foi necessário fazer um levantamento sobre as principais ações e medidas da política de mitigação de mudanças climáticas e de redução do desmatamento da Amazônia e do Cerrado do governo brasileiro, para então definir os cenários a serem simulados e o modelo aplicado.

Os resultados obtidos com as simulações forneceram uma direção do comportamento da economia com a introdução de políticas de redução do desmatamento no Brasil. Tais políticas têm impactos negativos, porém, pouco expressivos sobre a produção nacional de produtos agropecuários e de alimentos em relação à produção observada no cenário de referência (REF). Todas as variáveis econômicas sofrem mais impactos no cenário em que a redução do desmatamento ocorre de forma exponencial, até que seja atingido o desmatamento zero em 2050 na Amazônia e no Cerrado, por ser o cenário no qual o choque dado ao modelo permitiu o menor montante de desmatamento no país. A redução na produção setorial chega a no máximo 1,87% na agricultura, 1,81% na pecuária e 1,54% no setor de alimentos, em 2050. O fato de as perdas na agricultura serem maiores do que na pecuária refletem que a possibilidade de intensificação na produção é mais elevada na pecuária do que na agricultura. No caso da indústria de alimentos, como os produtos agropecuários são utilizados como insumos intermediários, a queda na produção é explicada pelo desempenho desfavorável da agropecuária.

Como consequência da mudança na produção, os setores agrícolas e de alimentos perdem competitividade no mercado internacional. Com a introdução da política de limitação do desmatamento, as vendas para o exterior diminuem em até 3,9% no setor agrícola e quase 5% no setor de alimentos, em 2050, enquanto as importações aumentam 1,74% e 2,66% no setor agrícola e no setor de alimentos, respectivamente, em 2050.

A avaliação dos resultados do nível de atividade econômica permite afirmar que o sacrifício a ser realizado pelo país em termos de perdas do PIB não se mostrou expressivo. A introdução de políticas de redução do desmatamento pouco altera a trajetória de crescimento da economia, gerando uma diminuição de no máximo 0,15% no PIB em relação à trajetória do cenário de referência, em 2050. No entanto, é importante ressaltar que devido às discrepâncias econômicas e sociais existentes entre as regiões e os estados brasileiros, os impactos sobre o

PIB regional/estadual podem ser bem distintos, mas essa análise foge ao escopo do modelo utilizado.

Quando analisados os impactos da introdução de políticas de limitação do desmatamento em termos de bem-estar, observou-se que as políticas levaram a perdas modestas para o Brasil, com queda de 0,07% em 2050 em relação ao cenário de referência. Portanto, o esforço no sentido de redução de preservar as áreas de vegetação natural na Amazônia e no Cerrado é benéfico, pois as perdas de bem-estar não serão significantes. Desse modo, caso o país continue o ritmo de redução dos desmatamentos, os resultados do modelo apontam que não haverá grandes perdas econômicas e sociais para o Brasil. Além disso, esses resultados não consideram os benefícios associados ao controle dos desmatamentos, como a manutenção da biodiversidade e as reduções nas emissões de gases de efeito estufa, com diminuição nos danos e prejuízos que podem ser causados pelas mudanças climáticas.

O modelo também forneceu a evolução do uso da terra no país, que por sua vez contribui para a compreensão dos resultados obtidos dos indicadores econômicos. O montante de áreas utilizadas para culturas é menor do que o verificado no cenário de referência, no entanto, a redução é de no máximo sete milhões de hectares até 2050. Já na pecuária, a introdução da política de redução do desmatamento reduz significativamente o montante de áreas utilizadas na produção em relação ao cenário REF, em aproximadamente, 38 milhões até 2050. Isso mostra que a produção na pecuária é intensificada diante da restrição a expansão sobre as áreas de vegetação natural, e de modo a liberar terras para a produção agrícola, na qual as possibilidades de intensificação são menores. Além disso, as simulações sugerem que a expansão da fronteira agrícola pode ocorrer sob a vasta área de vegetação secundária e áreas de cultivo e pastagens abandonadas existentes no Brasil, que poderiam ser melhor utilizadas via adoção de tecnologia e práticas agrícolas modernas. Também, não há indícios nos resultados de que a política adotada pelo Brasil pressione as fronteiras das áreas de florestas tropicais em outras regiões e países do mundo.

Obtêm-se como efeitos positivos das políticas de redução do desmatamento, a preservação de até 68 milhões de hectares de florestas e cerrados, que deixam de ser transformados em área agrícola, até 2050. Mais uma vez, esses resultados sugerem custos econômicos pouco expressivos diante dos potenciais benefícios de preservação ambiental, devido à capacidade de aumento em produtividade das pastagens brasileiras e conversão de áreas de vegetação secundária e subaproveitadas em cultivos agrícolas.

Esses resultados indicam que, até 2050, é possível substituir o capital natural (terra) na função de produção por outros recursos, principalmente na pecuária, ao menos nos níveis de

desmatamento analisados. Considerando o nível de expansão da agropecuária brasileira projetado pelo modelo EPPA até 2050 e as grandes áreas de vegetação secundária e de culturas e pastagens mal utilizadas e/ou subutilizadas no país, a visão mais pessimista da substituição apenas parcial entre capital físico e natural (comum na corrente da economia ecológica) não pode ser observada porque simplesmente não se chegou perto dos “limites” de restrição do recurso natural.

Por fim, simulou-se um exercício de pagamento de subsídios aos produtores agropecuários para que mantivessem a produção no mesmo nível que na ausência de políticas de redução do desmatamento. As alíquotas de subsídios chegariam a no máximo 1,2% e 4,46% na produção de culturas e da pecuária, respectivamente, em 2050. Os subsídios ainda permitiriam menores perdas em PIB e bem-estar, indicando poucas distorções na economia. A produção é reorganizada de modo a evitar maiores quedas na área utilizada pela produção agrícola, que é mais intensiva no fator terra e possui maior valor do produto por unidade de área, intensificando a produção do setor pecuário. Além disso, o subsídio altera a estrutura de preços relativos, gerando menores preços no setor agrícola.

As hipóteses a respeito da capacidade de intensificação da agricultura e da pecuária brasileira levam em conta a predominância da pecuária extensiva e de baixa produtividade e a heterogeneidade de sistemas produtivos de culturas no país, o que sugere um potencial razoável de ganhos de produtividade via substituição de terra por fatores e insumos. Análises de sensibilidade a respeito dessa capacidade de intensificação indicam que se essa capacidade fosse limitada os custos de redução do desmatamento seriam bem mais expressivos, principalmente no que diz respeito à queda na produção agropecuária e aumento nos preços dos produtos. Contudo, incertezas sobre a base de dados de uso da terra e do aumento da oferta de terra diante de mudanças na renda da mesma não são capazes de afetar os resultados alcançados e as conclusões do estudo.

Como recomendação de políticas sugere-se que ações que restrinjam a expansão da fronteira agrícola brasileira sejam acompanhadas de incentivos à adoção de tecnologias mais avançadas na agricultura que sejam capazes de aumentar a produtividade agrícola e pecuária, permitam a recuperação de pastagens e áreas degradadas, e acelerem o processo de desenvolvimento tecnológico do setor nas instituições públicas de pesquisa e pelo setor privado. Dessa forma, espera-se que o aumento na demanda por produtos agrícolas e alimentos possa ser acompanhado de aumento da oferta baseada na intensificação da produção agropecuária, evitando tendências de crescimento nos preços de alimentos e a perda de competitividade do setor brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHAMMAD, H.; MI, R. Land use change modeling in GTEM: accounting for forest sinks. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. In: *EMF22: Climate Change Control Scenarios*, Stanford University, California, 25-27 may 2005.

BABIKER, M.; JACOBY, H. D. Developing country effects of Kyoto-type emissions restrictions. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 53, oct.1999.

BABIKER, M.; REILLY, J.; JACOBY, H. The Kyoto Protocol and developing countries. *The Energy Policy*. Oxford, vol.28, n.8: 525-536, 2000.

BABIKER, M.; ECKAUS, R. Rethinking the Kyoto emissions targets. *Climatic Change*. Dordrecht, vol.54. n.4: 339-414, 2002.

BABIKER, M.; GURGEL, A.; PALTSEV, S.; REILLY, J. A forward looking version of the MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 161, may 2008.

BARRETO, P.; PEREIRA, R.; ARIMA, E. *A pecuária e o desmatamento na Amazônia na era das mudanças climáticas*. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). Belém, dez.2008.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? *Parcerias Estratégicas*, vol.6, n.12: 135-159, set.2001.

BERNSTEIN, P. M.; MONTGOMERY, W. D.; RUTHERFORD, T. F. Effects of restriction on international permit trading: the MS-MRT model. *The Energy Journal*. Wellington, n.esp.: 221-256, 1999.

BERTRAN, P. *História da terra e do homem no Planalto Central: eco-história do Distrito Federal – do indígena ao colonizador*. Brasília: Solo, 1994.

BOSETTI, V. *et al.* A world induced technical change hybrid model. *The Energy Journal*. Wellington, v.26, n.esp.: 13-37, 2006.

BOSETTI, V.; TAVONI, M. Uncertain R&D, backstop technology and GHGs stabilization. *Energy Economics*, vol.31,supplement 1: S18-S26, 2009.

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., 2009. Edição Extra. Seção 1, p.109. 2009a.

_____. Casa Civil da Presidência da República. *Plano de Ação para a Prevenção e o Controle do Desmatamento na Amazônia Legal*. Brasília, nov.2009b.

_____. Serviço Público Federal. *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado*. Brasília, set.2010a.

_____. Ministério de Ciência e Tecnologia. *Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal – Parte 2*. 2010b.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Plano Plurianual 2012-2015*. Brasília, 2011.

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

BURNIAUX, J. M.; NICOLETTI, G.; OLIVEIRA-MARTINS, J. GREEN: a global model for quantifying the cost of policies to curb CO₂ emissions. *OECD Economic Studies*. Paris, n.19, 1992.

BURNIAUX, J. M. TRUONG, P. T. GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model. Center for Global Trade and Analysis. *GTAP Technical Paper*, n.16, 2002.

COASE, R.H. The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*. Chicago, vol.3: 1-44, oct.1960.

COSSA, P. *Uncertainty analysis of the cost of climate policies*. 2004. Thesis (Master of Science) - Technology and Policy Program, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004.

COSTA, F.A. Balanço de carbono e economia local: um ensaio sobre uma região crítica da Amazônia. *Revista Economia*. Brasília, vol.10, n.2: 239-332, maio/ago.2009.

CUNHA, N.R.S. *et al.* A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. *RER*. Piracicaba, vol.46, n.2: 291-323, abr./jun.2008.

DALY, H.; FARLEY, J. *Ecological economics: principles and applications*. Washington, DC: Island Press, 2004.

DEAN, W. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DIAS, B.F.S. Conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado: histórico dos impactos antrópicos. *IX Simpósio sobre o Cerrado*. Brasília, out.2008.

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

DINIZ, M.B. *et al.* Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. *Nova Economia*. Belo Horizonte, vol.19, n.1: 121-151, jan./abr.2009.

DINIZ, T.B. *Impactos socioeconômicos do Código Florestal brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral*. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

EICKHOUT, B.; VAN MEIJL, H.; TABEAU, A.; STEHFEST, E. The impact of environmental and climate constraints on global food supply. Center for Global Trade and Analysis. *GTAP Working Paper*, n.47, 2002. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3678.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA); INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia. *Sumário Executivo*. Set.2011. Disponível em: <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

FARGIONE, J., HILL, J., TILMAN, D., POLASKY, S., HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*, vol.319: 1235 -1238, 2008.

FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. Endogenous land use and supply, and food security in Brazil. 15th ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS, 15, 2012, Geneva. *Conference Paper ...* Geneva: GTAP, 2012. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3814>. Acesso em: 13 jul. 2012.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). Código Florestal – Saiba tudo sobre a nova Lei. *Agroanalysis*. São Paulo, vol.32, n.6: 21-25, jun.2012.

FURTADO, C. *Formação econômica do Brasil*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

GANEM, R.S.; DRUMMOND, J.A.; FRANCO, J.L.A. Ocupação humana e impactos ambientais no Bioma Cerrado: dos Bandeirantes à política de biocombustíveis. In: IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 9, 2008, Brasília. *Anais ...* Brasília: ANPPAS, 2008. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro4/cd/ARQUIVOS/GT5-484-211-20080518092403.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

GITIAUX, X., PALTSEV, S., REILLY, J., RAUSCH, S. Biofuels, climate policy and the European vehicle fleet. Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 176, aug. 2009.

GOLUB, A.; HERTEL, T.W.; LEE, H., RAMANKUTTY, N. Modeling land supply and demand in the long run. In: 9th ANNUAL CONFERENCE ON ECONOMIC ANALYSIS, 9, 2006, Addis Ababa. *Conference Paper ...* Addis Ababa: GTAP, 2006. Disponível em: <http://adl.brs.gov.au/data/warehouse/pe_abarebrs99000946/pc13258.pdf>. Acesso em: 28 set. 2011.

GOLUB, A.; HERTEL, T. W.; SOHNGEN, B. Land use modeling in recursively –dynamic GTAP framework. Center for Global Trade and Analysis. *GTAP Working Paper*, n.48, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3679.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2011.

GOUEL, C.; HERTEL, T. W. Introducing forest access cost functions into a general equilibrium model. Center for Global Trade and Analysis. *GTAP Research Memorandum*, n.8, 2006. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2899.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2011.

GURGEL, A. C.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. Potential land use implications of a global biofuels industry. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*. Berkeley, vol.5, n.esp., 2007.

HARRISON, W. J.; PEARSON, K. R. Computing solutions for large general equilibrium models using GEMPACK. *Computational Economics*. New York, vol.9, n.2: 83-127, 1996.

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

HERTEL, T. *et al.* Effects of USA maize ethanol on global land use and greenhouse gas emissions: estimating market-mediated responses. *BioScience*, vol.60: 223-231, 2010.

HURTT, G. C. *et al.* The underpinnings of land-use history: three centuries of global gridded land-use transitions, wood-harvest activity, and resulting secondary lands. *Global Change Biology*, vol.12: 1208-1229, 2006.

HYMAN, C. R.; REILLY, J. M.; BABIKER, M. H.; MASIN, A. D.; JACOBY, H. D. Modeling non-CO2 greenhouse gas abatement. *Environmental Modeling and Assessment*, vol.8: 175-186, 2002.

IANCHOVICHINA, E.; HERTEL, T.; MCDUGALL, R. Resource use and technological progress in agriculture: a dynamic general equilibrium analysis. *Ecological Economics*, vol.38, n.2: 275-291, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Agropecuário* 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Ipea). Código Florestal: implicações do PL 1876/99 nas áreas de Reserva Legal. *Comunicados do Ipea*, n.96, jun. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2007: the physical science basis. Summary for policy makers*. Geneva: IPCC Secretariat, 2007a. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 10 jul.2011.

_____. *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policy makers*. Geneva: IPCC Secretariat, 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 10 jul.2011.

_____. *Climate change 2007: synthesis report. Summary for policy makers*. Geneva: IPCC Secretariat, 2007c. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 10 jul. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Biofuels for transport: and international perspective*: 2004. Paris: OECD/IEA, 2004.

INTERNATIONAL MONETARY FUND (IMF). *World Economic Outlook (September)*. Washington DC: International Monetary Fund, 2000.

JACOBY, H. D. *et al.* CO₂ emissions limits: economic adjustments and the distribution of burdens. *The Energy Journal*. Wellington, vol.18, n.3: 31-58, 1997.

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. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 111, jul.2004.

JACOBY, H. D.; BABIKER, M. H.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M. Sharing the burden of GHG reductions. In: ALDY, J.; STAVINS, R. (Eds.). *Post-Kyoto international climate policy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 735-785.

KASAHARA, S. *et al.* Climate change taxes and energy efficiency in Japan. *Environmental and Resource Economics*. Dordrecht, vol.37, n.2: 377-410, 2007.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, vol.1, n.1: 147-155, jul.2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation and land use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUES, R.J. *The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York: Columbia University Press, 2002, p. 69-88.

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

MACHADO, R.B. *et al.* Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. *Conservação Internacional – Brasil*. Brasília, jul.2004.

MANNE, A. S.; RICHELIS, R. G. *The role of non-CO₂ greenhouse gases and carbon sinks in meeting climate objectives*. Stanford University, 2004. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/MERGE/EMF21.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2012.

MARGULIS, S. Causes of deforestation of the Brazilian Amazon. *World Bank working paper*. Washington D.C, n.22, 2004.

MARTINS, S. Relatório técnico – Potenciais impactos das alterações do Código Florestal brasileiro na meta nacional de redução de emissões de gases de efeito estufa. Observatório do Clima. *Versão Preliminar para Discussão*, nov.2010.

MATHIESEN, L. Computation of economic equilibrium by a sequence of linear complementarity problems. *Mathematical Programming Study*. Heidelberg, vol.23: 144-162, 1985.

MAY, P. H. (Organizador). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MELILLO, J. M. *et al.* Indirect emissions from biofuels: how important? *Science*. Washington, vol.326, n.5958: 1397-1399, dec.2009.

METCALF, G. E. *et al.* Analysis of U.S. greenhouse gas tax proposals. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 160, apr.2008.

MIRANDA, E. E. *et al.* *Alcance territorial da legislação ambiental e indigenista. Embrapa Monitoramento por Satélite*. Campinas, 2008. Disponível em <<http://www.alcance.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 20 set. 2012.

NARAYANAN, B. G.; WALMSLEY, T. G. *Global trade, assistance, and production: the GTAP 7 Data Base*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2008.

NORDHAUS, W. D. An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Science*. Washington, vol.258: 1315-1319, 1992.

NORDHAUS, W. D.; YANG, Z. A regional dynamic general equilibrium model of alternative climate change strategies. *The American Economic Review*. Nashville, v.86, n.4: 741-765, 1996.

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.

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, 33-78, 2001.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE); ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). *Agricultural Outlook 2011-2020*. Washington: OCDE-FAO, 2011. Disponível em: <<http://www.agri-outlook.org/>>. Acesso em: 01 ago.2011.

OVERMARS, K. P. *et al.* Estimating the costs of reducing CO₂ emission via avoided deforestation with integrated assessment modeling. 15th ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS, 15, Geneva. *Conference Paper ...* Geneva: GTAP, 2012. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3857>. Acesso em: 06 ago.2012.

PADILHA JÚNIOR, J. B. *O impacto da Reserva Legal Florestal sobre a agropecuária paranaense, em um ambiente de risco*. 2004. 91f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; TAY, K. H. The cost of Kyoto protocol targets: the case of Japn. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 112, jul.2004.

PALTSEV, S. *et al.* The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 125, aug.2005.

PALTSEV, S. *et al.* Assessment of US cap-and-trade proposals. *Climate Policy*. London, vol.8: 395-420, 2008.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; MORRIS, J. F. The cost of climate in the United States. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 173, apr.2009.

PALTSEV, S. *et al.* The role of China in mitigating climate change. *Energy Economics*. Cambridge, vol.34: 444-450, dec.2012.

PEREIRA, J. M. O processo de ocupação e de desenvolvimento da Amazônia – A implementação de políticas públicas e seus efeitos sobre o meio ambiente. *Revista de Informação Legislativa*. Brasília, vol.34, n.134: 75-86, abr./jun.1997.

POPP, D. ENTICE: endogenous backstop technology in the DICE model of global warming. *Journal of Environmental Economics and Management*. Maryland Heights, vol.28, n.1: 742-768, 2004.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. *Economia e Sociedade*. Campinas, vol.20, n.3: 601-636, dez.2011.

REILLY, J.; FUGLIE, K. Future yield growth in field crops: what evidence exists? *Soil and Tillage Research*, vol.47: 275-290, 1998.

REILLY, J.; PALTSEV, S. European greenhouse gas emissions trading: a system in transition. In: MIGUEL, C.; LABANDEIRA, X.; MANZANO, B. (Ed.). *Economic modeling of climate change and energy policies*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2006. p. 45-64.

REILLY, J.; PALTSEV, S. Biomass energy competition for land. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. *Joint Program Report Series*. Cambridge, report 145, 2007.

REILLY, J. M.; SAROFIM, M.; PALTSEV, S.; PRINN, E. The role of non-CO₂ greenhouse gases in climate policy: analysis using the MIT IGSM. *The Energy Journal*. Wellington, n.esp: 503-520, 2006.

REILLY, J. *et al.* Global economic effects of changes in crops, pasture, and forests due to changing climate, carbon dioxide, and ozone. *The Energy Policy*. Oxford, vol.35: 5370-5383, 2007.

REILLY, J. *et al.* Using land to mitigate climate change: hitting the target recognizing the trade-offs. *Environmental Science & Technology*. Iowa City, vol.46: 5672-5679, 2012.

RICHELIS, R. G.; MANNE, A. S.; WIGLEY, T. M. L. Moving beyond concentrations: the challenge of limiting temperature change. In: SCHLENSINGER, M. E. *et al.* *Human-induced climate change*. New York: Cambridge University Press, 2007. p. 387-401.

RIVERO, S. L. M. *et al.* Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova Economia*. Belo Horizonte, vol.19, n.1: 41-66, jan./abr.2009.

ROCHA, G. F. *et al.* Detecção de desmatamento no Bioma Cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro, n.63/03: 341-349, 2011.

ROMEIRO, A. R. Economia ou economia política da sustentabilidade. IE/UNICAMP. *Texto para Discussão*. Campinas, n.102, set.2001.

ROMER, D. *Advanced macroeconomics*. New York: McGraw-Hill/Irwin, 3rd ed, 2006.

RUTHERFORD, T. F. The welfare effects of fossil carbon restrictions: results from a Recursively Dynamic Trade Model. OECD Economics Department. *Working Paper*, n.112, 1992.

RUTHERFORD, T. F. Extension of GAMS for complementarity problems arising in applied economic analysis. *Journal of Economic Dynamics and Control*. Amsterdam, vol.19, n.8: 1299-1324, 1995.

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, vol.14: 1-46, 1999.

RUTHERFORD, T. F.; PALTSEV, S. GTAP-Energy in GAMS: the dataset and static model. Center for Economic Analysis, Department of Economics, University of Colorado at Boulder. *Discussion Papers in Economics*. Boulder, Working Paper n.00-02, feb.2000. Disponível em: < <http://www.colorado.edu/econ/papers/papers00/wp00-2.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

SANTOS, M. A. *et al.* O Cerrado brasileiro: notas para estudo. CEDEPLAR/FACE/UFMG. *Texto para discussão*. Belo Horizonte, n.387, jun.2010.

SEABRA, J. E. A. *Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa da cana*. 2008. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SEARCHINGER, T. *et al.* Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science*, vol.319: 1238-1240, 2008.

SERRA, M. A.; FERNÁNDEZ, R. G. Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo. *Economia e Sociedade*. Campinas, vol.13,n.2: 107-131, jul./dez.2004.

SILVA, C. H. R. T. Cop16, metas voluntárias e reforma do Código Florestal: o desmatamento no Brasil e a mitigação da mudança global do clima. Centro de Estudos da Consultoria do Senado. *Texto para Discussão*, 81: 1-57, dez.2010.

SILVA, J. G.; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, vol.42, n.1: 93-135, abr.2012.

SOHNGEN, B.; TENNITY, C. Country specific global forest data set. Department of Agricultural, Environmental, and Development Economics. Ohio State University, 2004. Disponível em: <<http://aede.osu.edu/programs-and-research/forests-and-land-use/global-timber-market-and-forestry-data-project>>.

SPAROVEK, G. *et al.* A revisão do Código Florestal brasileiro. *Novos Estudos*. São Paulo, n.89: 181-205, mar.2011.

TAHERIPOUR, F. *et al.* Biofuels and their by-products: global economic and environmental implications. *Biomass Bioenergy*, vol.34: 278-289, 2010.

TAHERIPOUR, F.; HERTEL, T.; TYNER, W. Implications of biofuels mandates for the global livestock industry: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*. West Lafayette, vol.42: 325-342, 2011.

TAHERIPOUR, F.; TYNER, W. E. Biofuels and land use change: applying recent evidence to model estimates. *Applied Sciences*. West Lafayette, vol.3: 14-38, jan.2013.

TYNER, W.; TAHERIPOUR, F.; ZHUANG, Q.; BIRUR, D.; BALDOS, U. *Land use changes and consequent CO₂ emissions due to USA corn ethanol production: a comprehensive analysis*. Department of Agricultural Economics, University of Purdue, West Lafayette, 2010.

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

_____. *World population prospects: the 2000 revision*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2001. 22 p.

VIGUIER, L. L.; BABIKER, M. H.; REILLY, J. M. The cost of the Kyoto Protocol in the European Union. *Energy Policy*, Oxford, v. 31, p. 459-481, 2003.

WEBSTER, M. D. *et al.* Uncertainty in emissions projections for climate models. *Atmospheric Environment*. Oxford, vol.36: 3659-3670, 2002.

WHALLEY, J.; WIGLE, R. The international incidence of carbon taxes. In: DORNBUSH, R.; POTERBA, J.M. *Global warming: economic policy responses*. Cambridge: MIT Press, 1991. p. 71-97.

WIEBELT, M. Stopping deforestation in the Amazon: trade-off between ecological and economic targets? *Weltwirtschaftliches Archiv*, vol.131, n.3: 542-568, sep.1995.

APÊNDICE A – Considerações sobre as áreas de uso da terra no modelo EPPA

Tornam-se relevantes algumas comparações e considerações sobre os dados de uso da terra presentes no modelo EPPA, apresentados na Tabela 6. De acordo com os dados do IBGE, as áreas de culturas no país abrangem cerca de 65,7 milhões de ha, enquanto as áreas de pastagens abrangem aproximadamente 172 milhões de ha, considerando pastagens plantadas e naturais. Já as áreas de vegetação natural dos biomas Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal, segundo o Portalbio, atingem cerca de 400 milhões de ha, enquanto a vegetação florestal total de todos os biomas brasileiros é de aproximadamente 462 milhões de ha. As áreas de vegetação natural dos biomas Cerrado, Pampa e Caatinga atingem cerca de 181 milhões de ha, enquanto a área de vegetação nativa não florestal e campestre em todos os biomas brasileiros chega a aproximadamente 119 milhões de ha. Ainda, o total de áreas antrópicas é de 235,5 milhões de ha. Comparando esses dados com os do EPPA, percebe-se que a classificação oriunda do modelo TEM é bastante consistente com as estatísticas brasileiras no que diz respeito às áreas de culturas (65 milhões de ha) e ao total de áreas antrópicas (228 milhões de ha, considerando a categoria “OTHER” na soma). Já nas demais categorias, percebe-se alguma divergência, além de uma certa dificuldade de comparação da categoria FORS do EPPA com as estatísticas nacionais, por não haver nesta última parâmetros para essa categorização. Algumas hipóteses e considerações podem ser delineadas para justificar as diferenças aparentes. No caso da categoria florestas naturais, percebe-se que o modelo TEM classifica uma área maior do que as presentes nas estatísticas nacionais (cerca de 21 milhões de ha) para os biomas Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal, possivelmente por identificar partes do bioma cerrado brasileiro como áreas típicas de florestas, como as áreas denominadas por Cerradão e outras formações mais densas comumente presentes ao redor de cursos d’água. Quando as áreas nativas florestais de todos os biomas brasileiros são agrupadas (462 milhões de ha), superam a área classificada pelo TEM como florestas naturais, reforçando esta hipótese. Por outro lado, o modelo TEM subestima a área de campos e savanas naturais (NGRASS), que incluem as formações típicas do cerrado brasileiro, bem como a área de pastagens. Alguns aspectos contribuem para tal: a) parte da área de cerrados, caatinga e pampa do Portalbio é composta de vegetação tipicamente florestal, que no TEM seria classificada como área de floresta e não de campos e savanas (se forem consideradas apenas as vegetações nativas não-florestal, campestre e de transição desses biomas, a área, de cerca de 87 milhões de ha pelo Portalbio, se aproxima bastante da classificada pelo TEM como

campos e savanas); b) as estatísticas de pastagens do IBGE agregam as pastagens plantadas e as pastagens naturais, enquanto o TEM só considera sob essa categoria as pastagens plantadas; c) o TEM deve classificar parte do que é considerado como pastagens nas estatísticas do IBGE como área de vegetação secundária em recuperação (categoria FORS), devido ao estado de abandono e/ou de regeneração de espécies nativas nessas pastagens (de acordo com o Projeto TerraClass¹⁴, só nos Estados de Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, há uma área total de 3,7 milhões de ha de pasto sujo, que seria classificada pelo TEM como área de vegetação secundária). Além dessas considerações, deve-se ressaltar que os dados utilizados pelo modelo TEM são oriundos de um estudo de classificação e avaliação do uso da terra em nível mundial (HURTT *et al.*, 2006), que utiliza e tenta compatibilizar imagens de satélites e estatísticas nacionais de todos os países. Por último, vale destacar a ausência de concordância entre diferentes instituições e pesquisadores brasileiros sobre o uso e ocupação do solo no Brasil, o que aumenta as incertezas sobre a base de dados mais adequada. Dessa forma, acredita-se que, ressalvadas as considerações acima, a representação do uso da terra no modelo EPPA no ano de 2010 é um bom ponto de partida para a análise das consequências da redução do desmatamento sobre a economia brasileira.

¹⁴ O TerraClass teve como objetivo realizar a qualificação, a partir de imagens de satélite, das áreas já desflorestadas da Amazônia Legal. Maiores informações podem ser encontradas no sítio: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass.php.

APÊNDICE B – A Álgebra do Modelo EPPA

O modelo EPPA foi construído a partir do sub-programa *Mathematical Programming System for General Equilibrium* – MPSGE (Rutherford, 1999), que é uma linguagem de programação desenvolvida para resolver modelos econômicos de equilíbrio ao estilo Arrow-Debreu. O MPSGE usa como interface a linguagem de programação do GAMS e tem como objetivo construir modelos computáveis de equilíbrio geral de forma simples e com menores chances de erro de programação. Automaticamente, o MPSGE cria a formulação matemática do modelo na forma de um problema de complementariedade mista (MCP), 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. Utiliza essas informações para construir algebricamente as funções de custo e demanda relacionada e verifica 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 atendidas: condição de lucro zero (ou custo unitário igual ao preço do bem), condição de equilíbrio nos mercados (oferta igual à 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. Aqui será apresentada a formulação algébrica construída pelo MPSGE para o modelo EPPA em um período qualquer. Também serão apresentadas as principais equações do modelo, referentes às Figuras 1 a 6, 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 contêm todas as informações necessárias para a compreensão do modelo¹⁵.

As tabelas de 27 a 29 apresentam os conjuntos, variáveis e parâmetros do modelo. Na notação algébrica, o símbolo $\Pi_{r,k}^u$ denota a função de lucro na região r e setor k para a atividade de produção u . As equações de lucro zero representam as estruturas tecnológicas de cada setor e

¹⁵ A construção das equações pelo MPSGE é entendida ao comparar as mesmas com as árvores tecnológicas das Figuras 1 a 6, 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>>.

atividade da economia. A construção dessas equações emprega as funções de custo unitário e as funções de demanda na sua forma calibrada pela proporção (*calibrated share form*), como descrito por Rutherford (2002)¹⁶. 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 são utilizadas nas condições de equilíbrio de mercado.

Tabela 27 - Conjuntos e subconjuntos do modelo

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

¹ A Tabela 1 apresenta todos os elementos dos conjuntos k e r do modelo EPPA.

¹⁶ RUTHERFORD, T. F. Lecture notes on constant elasticity functions. University of Colorado, nov.2002. Disponível em: <<http://www.gamsworld.org/mpsge/debreu/ces/pdf>>.

Tabela 28 - 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
π_{rk}^Y	Preço de produção do bem k produzido na região r
π_{rk}^A	Preço do bem agregado k de Armington na região r
π_{rk}^N	Preço do agregado energético no setor k na região r
π_r^{LD}	Preço dos serviços do fator terra na região r
π_{rk}^{EMB}	Preço da cesta agregada de energia e materiais no setor k na região r
π_r^{PS}	Preço dos insumos substitutos perfeitos na produção de energia elétrica na região r
π_r^{WS}	Preço dos insumos de energia eólica e solar na produção de energia elétrica na região r
π_{rk}^M	Preço das importações agregadas do bem k importados pela região r
π^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
π_{rk}^E	Preço das permissões de GEEs no setor k na região r
π_{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

Tabela 29- Parâmetros iniciais de parcelas de custos (θ), dotações de fatores e coeficientes técnicos (variáveis exógenas)

Parâmetro ¹	Descrição
θ_{rjk}	Parcela do bem intermediário j no setor k na região r
θ_{rk}^{KLE}	Parcela da cesta KLE no setor k na região r
θ_{rk}^N	Parcela de energia na cesta KLE no setor k na região r
α_{rk}	Parcela de mão-de-obra no setor k na região r
α_{rN}	Parcela de mão-de-obra no setor de energia nuclear na região r
α_{rH}	Parcela de mão-de-obra no setor de energia hidroelétrica na região r
θ_{rk}^{ELE}	Parcela de eletricidade na demanda de energia pelo setor k na região r
θ_{rk}^{VA}	Parcela de valor adicionado no setor k na região r
θ_r^{LD}	Parcela do fator terra no setor AGR na região r
θ_{rk}^{II}	Parcela de insumos intermediários agregados no setor k na região r
θ_{rjk}^{ENOE}	Parcela do insumo $j \square$ ENOE no setor k na região r
θ_{rk}^R	Parcela de recurso natural do setor k na região r
θ_{rk}^{GAS}	Parcela de gás natural na cesta de combustíveis fósseis no setor k na região r
θ_{rk}^{PS}	Parcela de insumos substitutos perfeitos no setor de eletricidade na região r
θ_{rN}^R	Parcela do recurso fixo na produção de energia nuclear
θ_{rH}^R	Parcela do recurso fixo na produção de energia hidroelétrica
θ_{rk}^D	Parcela do bem doméstico k no Agregado de Armington na região r
θ_{srk}^M	Parcela das importações do bem k provenientes da região s nas importações de r
θ_r^S	Parcela de custo com poupança nos custos totais de consumo na região r
θ_r^{OC}	Parcela da cesta de outros consumos no consumo agregado na região r
θ_{rj}^{CE}	Parcela do agregado de energia no consumo final da região r
θ_{rj}^C	Parcela do bem j no consumo final da região r
θ_C^{TP}	Parcela do transporte próprio no consumo final da região r
θ_C^{RO}	Parcela de petróleo refinado para transporte no consumo final da região r
θ_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
ω_r^L	Dotação de trabalho na região r
ω_r^K	Dotação de capital na região r
ω_r^{LD}	Dotação de terra na região r
ω_{rk}^R	Dotação do recurso natural do setor k na região r ($k \square$ FF)
ω_r^{NU}	Dotação do recurso fixo nuclear na região r
ω_r^{HD}	Dotação do recurso fixo hidroelétrico na região r
ω_{rk}^E	Dotação de permissões de carbono para o setor k na região r
ω_{rC}^E	Dotação de permissões de carbono para as famílias na região r
ϵ_{rk}^j	Coefficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil $j \square$ ENOE no setor k na região r
ϵ_{rC}^j	Coefficiente de emissões de carbono pelo combustível fóssil $j \square$ ENOE no consumo final na região r
\bar{B}_r	Saldo do balanço de pagamentos na região r , tal que: $\sum_r \bar{B}_r = 0$
μ_{rsk}	Coefficiente de custo unitário de transporte internacional do bem k da região s para a região r

¹ As definições das elasticidades σ encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Condições de Lucro Zero

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

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^Y &= \pi_{rk}^Y - \sum_{j \notin ENE} \theta_{rjk} \pi_{rj}^A \\ &\quad - \theta_{rk}^{KLE} \left[\theta_{rk}^N (\pi_{rk}^N)^{1-\sigma_{EVA}} + (1 - \theta_{rk}^N) (w_r^{\alpha_{rk}} r_r^{1-\alpha_{rk}})^{1-\sigma_{EVA}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} = 0 \quad \forall k \\ &\quad \in STIO \end{aligned}$$

2. Produção de bens do setor AGR

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^Y &= \pi_{rk}^Y - \left\{ \theta_{rk}^{VA} (w_r^{\alpha_{rk}} r_r^{1-\alpha_{rk}})^{1-\sigma_{ERVA}} + (1 - \theta_{rk}^{VA}) \left[\theta_{rk}^{LD} (q_r^{LD})^{1-\sigma_{ER}} + (1 - \theta_{rk}^{LD}) \pi_{rk}^{EMB} \right]^{1-\sigma_{ER}} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma_{ERVA}}} = 0 \quad \forall k \\ &\quad \in AGR \end{aligned}$$

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

3. Produção de energia primária de combustíveis fósseis:

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^Y &= \pi_{rk}^Y - \left[\theta_{rk}^R q_{rk}^{1-\sigma_{GR}} + (1 - \theta_{rk}^R) \left(\sum_{j \notin ENE} \theta_{rjk} \pi_{rj}^A + (w_r^{\alpha_{rk}} r_r^{1-\alpha_{rk}}) \right)^{1-\sigma_{GR}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{GR}}} \\ &= 0 \quad \forall k \in FF \end{aligned}$$

4. Produção de petróleo refinado

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^Y &= \pi_{rk}^Y - \sum_{j \notin ECGPR} \theta_{rjk} \pi_{rj}^A \\ &\quad - \theta_{rk}^{KLE} \left[\theta_{rk}^N (\pi_{rk}^N)^{1-\sigma_{EVA}} + (1 - \theta_{rk}^N) (w_r^{\alpha_{rk}} r_r^{1-\alpha_{rk}})^{1-\sigma_{EVA}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} = 0 \quad \forall k \\ &\quad \in ROIL \end{aligned}$$

5. Produção de eletricidade

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

$$\begin{aligned} \Pi_r^{PS} = \pi_r^{PS} - & \left(\sum_{j \notin ENE} \theta_{rjELE} \pi_{rj}^A \right. \\ & + \theta_{rELE}^{KLE} \left[\theta_{rELE}^N (\pi_{rELE}^N)^{1-\sigma_{EVA}} \right. \\ & \left. \left. + (1 - \theta_{rELE}^N) (w_r^{\alpha_{rELE}} r_r^{1-\alpha_{rELE}})^{1-\sigma_{EVA}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{EVA}}} \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\Pi_r^{PS} = \pi_r^{PS} - \left[\theta_{rN}^R q_r^{NU} 1^{-\sigma_{NGR}} + (1 - \theta_{rN}^R) (w_r^{\alpha_{rN}} r_r^{1-\alpha_{rN}})^{1-\sigma_{NGR}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{NGR}}} = 0$$

$$\Pi_r^{PS} = \pi_r^{PS} - \left[\theta_{rH}^R q_r^{HD} 1^{-\sigma_{NGR}} + (1 - \theta_{rH}^R) (w_r^{\alpha_{rH}} r_r^{1-\alpha_{rH}})^{1-\sigma_{NGR}} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_{NGR}}} = 0$$

6. Agregado de insumos energéticos específico por setor

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^N = \pi_{rk}^N - & \left\{ \theta_{rk}^{ELE} (\pi_{rELE}^A)^{1-\sigma_{ENOE}} \right. \\ & \left. + (1 - \theta_{rk}^{ELE}) \left(\sum_{j \in ENOE} \theta_{rjk} (\pi_{rj}^A + \pi_{rk}^E \epsilon_{rk}^j)^{1-\sigma_{EN}} \right)^{\frac{(1-\sigma_{ENOE})}{(1-\sigma_{EN})}} \right\} = 0 \quad \forall k \\ & \in STIO \text{ e AGR} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{rk}^N = \pi_{rk}^N - & \left\{ \theta_{rk}^{ELE} (\pi_{rELE}^A)^{1-\sigma_{ENOE}} + (1 \right. \\ & \left. - \theta_{rk}^{ELE}) \left(\sum_{j \in FF} \theta_{rjk} (\pi_{rj}^A + \pi_{rk}^E \epsilon_{rk}^j)^{1-\sigma_{EN}} \right)^{\frac{(1-\sigma_{ENOE})}{(1-\sigma_{EN})}} \right\} = 0 \quad \forall k \in ROIL \end{aligned}$$

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

7. Agregado de Armington:

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

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):

$$\begin{aligned} \Pi_r^U = p_r^U - & \left\{ \theta_r^S (p_r^S)^{1-\sigma_{CS}} + (1 - \theta_r^S) [\theta_r^{OC} (p_r^{OC})^{1-\sigma_{CT}} + (1 - \theta_r^{OC}) (p_r^T)^{1-\sigma_{CT}}] \right. \\ & \left. \right\}^{\frac{1-\sigma_{CS}}{1-\sigma_{CT}}} \\ & = 0 \end{aligned}$$

10. Demanda de energia e outros bens pelas famílias

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

11. Demanda de serviços de transporte pelas famílias

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

Condições de Equilíbrio dos Mercados

12. Trabalho

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

13. Capital

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

14. Terra

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

15. Recursos naturais (reservas de combustíveis fósseis)

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

16. Recursos fixos (nuclear e hidroelétrico)

$$\begin{aligned} \omega_r^{NU} &= Y_{rELE} \frac{\partial \Pi_r^{PS}}{\partial q_r^{NU}} \\ \omega_r^{HD} &= Y_{rELE} \frac{\partial \Pi_r^{PS}}{\partial q_r^{HD}} \end{aligned}$$

17. Produção setorial

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

18. Demanda de energia setorial

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

19. Oferta de importação

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

20. Oferta agregada Armington

$$A_{rj} = \sum_k Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial \pi_{rj}^A} + C_r \frac{\partial \Pi_r^{OC}}{\partial \pi_{rj}^A}$$

$$A_{rj} = \sum_{k \in ST10} Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial \pi_{rj}^A} + \sum_{k \in ENOE} Y_{rk} \frac{\partial \Pi_{rk}^Y}{\partial \pi_{rj}^A} + Y_{rAGR} \frac{\partial \Pi_{rAGR}^{EMB}}{\partial \pi_{rj}^A} + Y_{rELE} \frac{\partial \Pi_r^{PS}}{\partial \pi_{rj}^A} + C_r \frac{\partial \Pi_r^{OC}}{\partial \pi_{rj}^A}$$

$$+ CT_r \frac{\partial \Pi_r^{CT}}{\partial \pi_{rj}^A} \quad \forall j \notin ENE$$

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

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

21. Demanda por poupança pelas famílias

$$S_r = U_r \frac{\partial \Pi_r^U}{\partial p_r^S}$$

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

$$C_r = U_r \frac{\partial \Pi_r^U}{\partial p_r^{OC}}$$

23. Demanda final de serviços de transporte pelas famílias

$$CT_r = U_r \frac{\partial \Pi_r^U}{\partial p_r^T}$$

24. Emissões de carbono pelos setores

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

25. Emissões de carbono pelas famílias

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

Balanco da renda

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

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 se exemplifica 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 mostra 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. Os parâmetros especificados após os campos “Q:” indicam os valores na base de dados inicial do modelo relacionados com cada um dos preços. A soma dos valores dos insumos deve ser igual ao valor da produção, para que a condição de lucro seja satisfeita. 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, 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 significa que a função assume proporções fixas de insumos intermediários e do agregado dos demais insumos (cesta KLE). A especificação “ee:” define a elasticidade σ_{EVA} entre o agregado de insumos energéticos e o valor adicionado, enquanto a especificação “va:” determina a elasticidade σ_{VA} entre os componentes do valor adicionado. Maiores informações 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).

APÊNDICE C – Resultados do cenário de referência

Tabela 30 – Produção por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004)

Setor	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	5,20	5,74	6,40	7,17	8,30	9,65	11,34	13,42
LIVE	2,27	2,50	2,83	3,19	3,63	4,10	4,66	5,29
FOOD	12,48	13,76	15,51	17,47	19,76	22,21	25,05	28,24

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 31 – Áreas por categoria no cenário de referência – em mil hectares

Categoria	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	65.517	68.565	72.374	76.500	83.612	91.747	101.390	112.331
LIVE	152.781	159.904	170.726	181.203	192.883	202.313	210.325	215.567
FORS	103.138	102.528	101.339	99.831	93.658	86.210	77.730	69.375
NGRASS	89.924	82.802	71.979	61.545	51.712	44.454	38.178	33.261
NFORS	419.182	416.715	414.047	411.337	408.500	405.598	402.652	399.694

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 32 – Exportações líquidas por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004)

Setor	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	0,90	0,95	0,96	1,00	1,24	1,62	2,14	2,88
FOOD	1,99	2,16	2,44	2,79	3,27	3,80	4,47	5,28

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 33 – Importações líquidas por setor no cenário de referência – em US\$ 10 bilhões (de 2004)

Setor	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	0,28	0,34	0,42	0,51	0,61	0,70	0,79	0,89
FOOD	0,32	0,36	0,42	0,47	0,53	0,59	0,65	0,72

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 34 – Preços de oferta doméstica por setor no cenário de referência – índice de preços (2004=1)

Setor	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
CROP	1,21	1,22	1,25	1,28	1,30	1,32	1,33	1,33
LIVE	1,22	1,23	1,27	1,31	1,34	1,36	1,38	1,40
FOOD	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 35 – PIB e bem-estar no cenário de referência

2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PIB - em US\$ 10 bilhões (de 2004)							
111,16	128,73	150,83	176,36	205,86	238,47	276,38	319,38
Bem-estar – índice (2004=1)							
1,91	2,20	2,59	3,02	3,52	4,05	4,69	5,41

Fonte: Resultados do modelo.

Tabela 36 – Áreas florestais em outras partes do mundo no cenário de referência – em milhões de hectares

Categoria	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
NGRASS	546	534	516	500	479	467	457	447
NFORS	3.684	3.591	3.530	3.481	3.426	3.366	3.307	3.241

Fonte: Resultados do modelo.

ANEXO A – Ações e Metas do PPCDAm para 2009-2011

Conforme apresentado no PPCDAm 2009-2011 (BRASIL, 2009b), o plano operativo foi estruturado em: macro ações estratégicas para atacar as causas críticas apontadas, sendo acompanhadas pela Comissão Executiva do plano; e ações complementares ordinárias, que contribuem de forma complementar no processo de execução e desenvolvimento das primeiras, e são acompanhadas pelos órgãos responsáveis por sua realização, As ações estratégicas para cada dos três eixos do plano estão listadas abaixo:

1. Ordenamento fundiário e territorial:

- Elaboração do Macro Zoneamento da Amazônia;
- Regularização Fundiária de 296 mil posses rurais na Amazônia Legal;
- Criação de seis milhões de hectares de Unidades de Conservação (UC) Federais na Amazônia Legal;
- Regularização Fundiária de 20 UCs Federais na área de influência da BR 163 e Arco do Desmatamento;
- Demarcação e homologação de quatro milhões de hectares de Terras Indígenas,

2. Monitoramento e controle

- Aprimoramentos dos sistemas de monitoramento ambiental;
- Montagem de bases móveis para o combate ao desmatamento ilegal;
- Criação e implementação da Companhia de Operações Ambientais da Força Nacional (COA/FN), com 200 policiais militares para pronto emprego;
- Implantação de sete novos portais rodoviários para monitoramento e controle do fluxo de produtos florestais;
- Criação e implementação da Comissão de Combate aos Crimes e Infrações Ambientais (CICCIA);
- Intensificação das operações integradas de fiscalização do desmatamento e demais ilícitos associados;
- Proteção das UCs Federais, com a formação progressiva de 800 guardas parque;
- Responsabilização ambiental (administrativa e civil);

- Apoio à elaboração do Cadastro Ambiental Rural (CAR) em 15 municípios prioritários;
- Implementação do projeto de apoio à descentralização da gestão florestal na Amazônia Legal;
- Fortalecimento dos Batalhões Ambientais da Polícia Militar nos estados da Amazônia Legal para o combate ao crime ambiental;
- Pesquisa para gestão ambiental sustentável na Amazônia (Rede GEOMA, LBA e PELD),

3. Fomento às atividades produtivas sustentáveis

- Gestão de florestas públicas;
- Implementar ações para uma política agrícola sustentável para a Amazônia Legal em conjunto com as secretarias estaduais de agricultura;
- Aperfeiçoamento dos instrumentos de financiamento e crédito para promover a conservação ambiental e recuperação da floresta;
- Licenciamento ambiental dos assentamentos de reforma agrária, manejo dos recursos naturais e assistência técnica e extensão rural;
- Apoio às comunidades extrativistas e indígenas;
- Apoio a projetos de ciência, tecnologia e inovação tecnológica para inclusão e desenvolvimento social;
- Pesquisa e desenvolvimento de modelos produtivos sustentáveis para o Bioma Amazônia;
- Apoio ao desenvolvimento rural em bases sustentáveis;
- Acordos setoriais,

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

Tabela 37 – Mapeamento de 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
AGRI	PDR	<i>paddy rice</i>	OTHR	LUM	<i>wood products</i>
AGRI	WHT	<i>wheat</i>	CRP	PPP	<i>paper products - publishing</i>
AGRI	GRO	<i>cereal grains nec</i>	ROIL	P_C	<i>petroleum - coal products</i>
AGRI	V_F	<i>vegetables - fruit - nuts</i>	CRP	CRP	<i>chemical - rubber - plastic products</i>
AGRI	OSD	<i>oil seeds</i>	EINT	NMM	<i>mineral products nec</i>
AGRI	C_B	<i>sugar cane - sugar beet</i>	IRON	I_S	<i>ferrous metals</i>
AGRI	PFB	<i>plant-based fibers</i>	EINT	NFM	<i>metals nec</i>
AGRI	OCR	<i>crops nec</i>	IRON	FMP	<i>metal products</i>
AGRI	CTL	<i>bo horses</i>	OTHR	MVH	<i>motor vehicles and parts</i>
AGRI	OAP	<i>animal products nec</i>	OTHR	OTN	<i>transport equipment nec</i>
AGRI	RMK	<i>raw milk</i>	OTHR	ELE	<i>electronic equipment</i>
AGRI	WOL	<i>wool - silk-worm cocoons</i>	OTHR	OME	<i>machinery and equipment nec</i>
AGRI	FRS	<i>forestry</i>	OTHR	OMF	<i>manufactures nec</i>
AGRI	FSH	<i>fishing</i>	ELEC	ELY	<i>electricity</i>
COAL	COL	<i>coal</i>	GAS	GDT	<i>gas manufacture - distribution</i>
OIL	OIL	<i>oil</i>	OTHR	WTR	<i>water</i>
GAS	GAS	<i>gas</i>	OTHR	CNS	<i>construction</i>
OTHR	OMN	<i>minerals nec</i>	SERV	TRD	<i>trade</i>
OTHR	CMT	<i>bo meat products</i>	TRAN	OTP	<i>transport nec</i>
OTHR	OMT	<i>meat products</i>	TRAN	WTP	<i>water transport</i>
OTHR	VOL	<i>vegetable oils and fats</i>	TRAN	ATP	<i>air transport</i>
OTHR	MIL	<i>dairy products</i>	SERV	CMN	<i>communication</i>
OTHR	PCR	<i>processed rice</i>	SERV	OFI	<i>financial services nec</i>
OTHR	SGR	<i>sugar</i>	SERV	ISR	<i>insurance</i>
OTHR	OFD	<i>food products nec beverages and tobacco products</i>	SERV	OBS	<i>business services nec</i>
OTHR	B_T	<i>products</i>	SERV	ROS	<i>recreational and other services</i>
OTHR	TEX	<i>textiles</i>	SERV	OSG	<i>public admin (defence, educ, health)</i>
OTHR	WAP	<i>wearing apparel</i>	OTHR	DWE	<i>ownership of dwellings</i>
OTHR	LEA	<i>leather products</i>	CGD	CGD	<i>Savings good</i>

Tabela 38 – Mapeamento de regiões do GTAP para o EPPA

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

(continua)

Tabela 31 – Mapeamento de regiões do GTAP para o EPPA (conclusão)

Região no EPPA	País ou Região	Região no EPPA	País ou Região	Região no EPPA	País ou Região
ASI	<i>Indonesia</i>	ANZ	<i>Vanuatu</i>	AFR	<i>Seychells</i>
REA	<i>Vietnam</i>	ANZ	<i>Wallis and Futuna</i>	AFR	<i>Benin</i>
REA	<i>Cambodia</i>	ANZ	<i>Tuvalu</i>	AFR	<i>Burkina Faso</i>
REA	<i>Bangladesh</i>	MES	<i>Bahrain</i>	AFR	<i>Burundi</i>
REA	<i>Sri Lanka</i>	MES	<i>Iraq</i>	AFR	<i>Cameroon</i>
REA	<i>Pakistan</i>	MES	<i>Israel</i>	AFR	<i>Cape Verde</i>
REA	<i>Afghanistan</i>	MES	<i>Jordan</i>	AFR	<i>Central African Republic</i>
REA	<i>Maldives</i>	MES	<i>Kuwait</i>	AFR	<i>Chad</i>
REA	<i>Nepal</i>	MES	<i>Lebanon</i>	AFR	<i>Comoros</i>
REA	<i>Bhutan</i>	MES	<i>Palestina</i>	AFR	<i>Congo</i>
REA	<i>Brunei</i>	MES	<i>Oman</i>	AFR	<i>Coe d'Ivoire</i>
REA	<i>Laos</i>	MES	<i>Qatar</i>	AFR	<i>Djibouti</i>
REA	<i>Myanmar</i>	MES	<i>Saudi Arabia</i>	AFR	<i>Equatorial Guinea</i>
REA	<i>Timor Leste</i>	MES	<i>Syria</i>	AFR	<i>Eritrea</i>
REA	<i>Macau</i>	MES	<i>United Arab Emirates</i>	AFR	<i>Ethiopia</i>
REA	<i>Mongolia</i>	MES	<i>Yemen</i>	AFR	<i>Gabon</i>
REA	<i>Korea (Dem, Rep, of)</i>	MES	<i>Iran</i>	AFR	<i>Gambia</i>
ANZ	<i>Australia</i>	AFR	<i>Tunisia</i>	AFR	<i>Ghana</i>
ANZ	<i>New Zealand</i>	AFR	<i>Egypt</i>	AFR	<i>Guinea</i>
ANZ	<i>American Samoa</i>	AFR	<i>Botswana</i>	AFR	<i>Guinea-Bissau</i>
ANZ	<i>Cook Islands</i>	AFR	<i>South African Republic</i>	AFR	<i>Kenya</i>
ANZ	<i>Fiji</i>	AFR	<i>Malawi</i>	AFR	<i>Liberia</i>
ANZ	<i>French Polynesia</i>	AFR	<i>Mozambique</i>	AFR	<i>Mali</i>
ANZ	<i>Guam</i>	AFR	<i>Tanzania</i>	AFR	<i>Mauritania</i>
ANZ	<i>Kiribati</i>	AFR	<i>Zambia</i>	AFR	<i>Mayotte</i>
ANZ	<i>Marshall Islands</i>	AFR	<i>Zimbabwe</i>	AFR	<i>Niger</i>
ANZ	<i>Micronesia</i>	AFR	<i>Mauritius</i>	AFR	<i>Reunion</i>
ANZ	<i>Nauru</i>	AFR	<i>Madagascar</i>	AFR	<i>Rwanda</i>
ANZ	<i>New Caledonia</i>	AFR	<i>Uganda</i>	AFR	<i>Saint Helena</i>
ANZ	<i>Norfolk Islands</i>	AFR	<i>Nigeria</i>	AFR	<i>Sao Tome and Principe</i>
ANZ	<i>Northern Mariana Islands</i>	AFR	<i>Senegal</i>	AFR	<i>Sierra Leone</i>
ANZ	<i>Niue</i>	AFR	<i>Algeria</i>	AFR	<i>Somalia</i>
ANZ	<i>Papua New Guinea</i>	AFR	<i>Lybia</i>	AFR	<i>Sudan</i>
ANZ	<i>Samoa</i>	AFR	<i>Lesotho</i>	AFR	<i>Togo</i>
ANZ	<i>Solomon Islands</i>	AFR	<i>Namibia</i>	AFR	<i>Morocco</i>
ANZ	<i>Tokelau</i>	AFR	<i>Swaziland</i>	AFR	<i>Congo (Dem,Rep, of)</i>
ANZ	<i>Tonga</i>	AFR	<i>Angola</i>		