

GÉSSICA CARDOSO PEREIRA DE SOUZA

**CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS IMPACTOS SOBRE O
USO DA TERRA NO BRASIL: EXERCÍCIOS A PARTIR DE UM MODELO DE
EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Economia
Aplicada, para obtenção do título de *Magister
Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729c
2017 Souza, Gêssica Cardoso Pereira de, 1991-
Cenários de expansão da cana-de-açúcar e seus impactos sobre o
uso da terra no Brasil : exercícios a partir de um modelo de equilíbrio
geral computável / Gêssica Cardoso Pereira de Souza. - Viçosa, MG,
2017.

xv, 100f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: José Gustavo Féres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.85-92.

1. Cana-de-açúcar. 2. Alimento. 3. Uso da terra. I. Universidade
Federal de Viçosa. Outros Órgãos. Programa de Pós-graduação em
Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22 ed. 633.61

GÉSSICA CARDOSO PEREIRA DE SOUZA

**CENÁRIOS DE EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR E SEUS IMPACTOS
SOBRE O USO DA TERRA NO BRASIL: EXERCÍCIOS A PARTIR DE UM
MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de agosto de 2017.


Ian Michael Trotter


Edson Paulo Domingues


Angelo Costa Gurgel
(Coorientador)


José Gustavo Féres
(Orientador)

Dedico esse trabalho aos meus pais e irmãos

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me permitiu ter, ser e fazer.

Aos meus pais, Nilza e Luis, por sempre caminharem ao meu lado, pelo apoio incondicional e por compreenderem a minha ausência muitas vezes.

Aos meus irmãos e demais familiares que sempre me incentivaram.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV e ao Departamento de Economia Rural por me proporcionarem a oportunidade de aprimorar meus conhecimentos, aprender e crescer como pessoa e profissional.

Ao Professor Ângelo Costa Gurgel, meus sinceros agradecimentos pela sua contribuição para o meu trabalho, por ter sido tão paciente e atencioso nessa jornada e por estar sempre disponível para ensinar e conversar.

Ao Professor José Gustavo Féres pela orientação e por seu incentivo.

A todos os amigos e colegas do DER agradeço o companheirismo e amizade. Em especial a Ana Cecília e Jayne que foram fundamentais no êxito dessa caminhada. Sou imensamente agradecida pelos ensinamentos, não somente acadêmicos, mas de vida.

A todos os professores e mestres que passaram pela minha vida, pelos ensinamentos transmitidos e contribuições na minha formação acadêmica.

À CAPES pelo apoio financeiro para a realização do curso de mestrado.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a finalização dessa importante etapa.

BIOGRAFIA

GÉSSICA CARDOSO PEREIRA DE SOUZA, filha de Nilza Cardoso Pereira de Souza e Luiz Carlos Pereira de Souza, nasceu em Ponte Nova, Minas Gerais, em 4 de abril de 1991.

Em 2009, deu início a seus estudos no curso de Ciências Econômicas na Universidade Federal de Juiz de Fora, concluindo-o em dezembro de 2014.

Em 2015, ingressou no Programa de Pós Graduação em Economia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários para a obtenção do título *de Magister Scientiae* em 2017.

Em 2017, ingressou no Programa de Doutorado em Economia Aplicada na Universidade Federal de Minas Gerais.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Iniciais	1
1.2 O problema e sua importância	5
1.3 Hipótese	9
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo geral.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 A teoria econômica do equilíbrio geral.....	11
2.2 A terra como fator de produção	20
2.3 Modelos EGC com representação do fator terra.....	22
3 METODOLOGIA	27
3.1 Modelo Aplicado de Equilíbrio Geral – PAEG	27
3.1.1 Identidades econômicas.....	29
3.1.2 Comportamento dos agentes econômicos	32
3.1.3 Regras de Fechamento do PAEG	37
3.1.4 A Base de Dados do PAEG.....	38
3.2 A incorporação do uso da terra no modelo PAEG.....	38
3.2.1 Remuneração da terra agrícola no PAEG	38
3.2.2 Remuneração da terra natural no PAEG	40
3.2.3 A oferta de terra e o custo de conversão	43
3.3 A nova especificação da demanda no modelo PAEG.....	51
3.4 Fonte dos dados	56
4 RESULTADOS	57
4.1 Cenários de expansão e estagnação	57

4.2 Simulações	59
4.3 Resultados das variações nos usos da terra.....	61
4.4 Resultados das variações na produção setorial	69
4.5 Resultados das variações nos preços das commodities domésticas.....	73
4.6 Resultado das variações na remuneração dos fatores primários de produção	76
4.7 Resultados das variações na produtividade da terra	76
4.8 Análise de sensibilidade.....	77
5 CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE A	93
APÊNDICE B.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Variáveis do modelo PAEG e suas descrições.....	33
Quadro 2: Descrição e fonte dos dados utilizados na pesquisa.....	56
Quadro 3: Cenários de estagnação e expansão da cana-de-açúcar para o ano de 2030.....	58
Quadro 4: Descrição dos choques utilizados na pesquisa.....	59
Quadro 5: Descrição dos testes de análise de sensibilidade.....	77
Quadro 6: Agregação entre regiões e setores para o PAEG.....	93
Quadro 7: Parâmetros representados explicitamente na base de dados do PAEG.....	94
Quadro 8: Definição das classes de terra do IBGE.....	95

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do Preço de Venda de terra Lavouras, Pastagem, Mata e Campo	41
Gráfico 2: Diferentes tipos de terra em cada macroregião brasileira e Brasil.....	49
Gráfico 3: Variação absoluta das áreas de culturas, cana-de-açúcar, pastagem e desmatamento após a implementação do choque CH 1 (milhões de hectares).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores das rendas da terra agrícola e natural.....	42
Tabela 2: Custo de conversão da terra	46
Tabela 3: Áreas dos diferentes usos da terra (milhões de hectar).....	48
Tabela 4: Elasticidades e parâmetros da função de custo de conversão	50
Tabela 5: Produção de cana-de-açúcar total e destinada ao etanol na safra de 2015/5016 e nos cenários de 2030 (milhões de toneladas).....	59
Tabela 6: Área de terras destinadas as culturas, valores iniciais e após os choques (milhões de hectares).....	62
Tabela 7: Áreas de terras destinadas a pastagem, valores iniciais e após os choques (milhões de hectares).....	63
Tabela 8: Área de terras desmatadas, valores iniciais e após os choques (hectares).....	65
Tabela 9: Área de terras destinadas a cana-de-açúcar, inicial e após os choques (milhões de hectares).....	65
Tabela 10: Variação absoluta das áreas de cana e áreas de cultura (milhões de hectares)	66
Tabela 11: Variação absoluta das áreas de cana-de-açúcar, pastagem e desmatamento, nos choques otimistas, CH 1 e CH 3 (milhões de hectares)	67
Tabela 12: Variação da produção setorial da região Norte (%)	69
Tabela 13: Variação da produção setorial da região Nordeste (%).....	70
Tabela 14: Variação da produção setorial da região Centro-Oeste (%).....	71
Tabela 15: Variação produção setorial da região Sudeste (%).....	72
Tabela 16: Variação da produção setorial da região Sul (%).....	73
Tabela 17: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 1 (%).....	74
Tabela 18: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 3 (%).....	75
Tabela 19: Variação absoluta do desmatamento após a implementação do choque de expansão CH 1 e de choques sob pressupostos e parametros alternativos (milhão de hectares)	78
Tabela 20: Variação nos preços do setor de alimentos (foo) após a implementação do choque de expansão CH 1 e de choques sob pressupostos e parametros alternativos (%)	79
Tabela 23: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 2 (%).....	97

Tabela 24: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 4 (%).....	97
Tabela 25: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 5 (%).....	98
Tabela 26: Mudança na remuneração dos fatores primários em cada macrorregião brasileira	98
Tabela 27: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Norte (%).....	99
Tabela 28: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Nordeste (%)	99
Tabela 29: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Centro-Oeste (%)	99
Tabela 30: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Sudeste (%)	100
Tabela 31: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Sul (%)	100

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo circular da economia.....	13
Figura 2: Matriz de contabilidade social estilizada	15
Figura 3: Estrutura padrão da tecnologia de produção de um modelo inter-regional de EGC	16
Figura 4: Estrutura padrão da demanda das famílias em um modelo inter-regional de EGC ..	17
Figura 5: Curva de oferta da terra.....	22
Figura 6: Alocação da terra no modelo GTAP padrão.....	23
Figura 7: Estrutura geral do modelo PAEG.....	29
Figura 8: Árvore tecnológica da estrutura produtiva do PAEG.....	34
Figura 9: Estrutura da terra incorporada ao modelo PAEG.....	43
Figura 11: Estrutura da função de transformação da terra.....	44
Figura 12: Caminhos de expansão da renda das preferências Stone-Geary	52
Figura 13: Estrutura de demanda das famílias	55

RESUMO

SOUZA, Gécica Cardoso Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2017. **Cenários de expansão da cana-de-açúcar e seus impactos sobre o uso da terra no Brasil: exercícios a partir de um modelo de equilíbrio geral computável.** Orientador: José Gustavo Feres. Coorientador: Ângelo Costa Gurgel.

O Brasil é considerado um líder mundial na produção de etanol derivado da cana-de-açúcar. O setor canavieiro, nas últimas décadas apresentou recordes de produção, área plantada e área colhida. Essa rápida expansão provoca alguns questionamentos e preocupações acerca dos impactos ambientais, econômicos e sociais, não somente na região/país produtor, mas em todas as demais regiões/países. Uma discussão recorrente na literatura, por exemplo, é se existe disponibilidade de terra agricultável que possa abrigar a expansão da cultura da cana-de-açúcar, sem causar maiores prejuízos para o meio ambiente e para a sociedade, como uma piora do desmatamento e aumentos nos preços dos alimentos, respectivamente. Dessa forma, o principal objetivo desta dissertação foi projetar o impacto de um aumento da demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol sobre o uso da terra e sobre a produção de alimentos no Brasil, em cenários de expansão e estagnação da produção. A metodologia utilizada foi a de equilíbrio geral, com modificações na modelagem a fim de tornar a análise factível. Uma das modificações no modelo foi a incorporação de um módulo de uso da terra e um custo de conversão entre os diferentes tipos de terras, permitindo capturar as mudanças diretas e indiretas do uso da terra, *Direct Land Use Change* (LUC) e *Indirect Land Use Change* (ILUC), decorrente de uma expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol. Os resultados sugerem que o Brasil possui terras suficientes para acomodar o crescimento da cana-de-açúcar projetado para o ano de 2030. A expansão ocorreria às custas das áreas de culturas e pastagens, principalmente. O impacto sobre o desmatamento seria relativamente pequeno, sentido principalmente pela região Norte. Verificou-se a ocorrência de competição entre a produção de cana-de-açúcar e culturas, no entanto, a diminuição das áreas de culturas, não parece impactar expressivamente sobre o preço dos insumos alimentares e sobre o preço do alimento final. Foi verificado, ainda, que as regiões acomodam a produção dos insumos alimentares de forma a satisfazer a demanda nacional e internacional por alimentos, principalmente a região Norte. Por fim, constatou-se que um aumento na produtividade da terra utilizada na produção de cana provoca um efeito poupa-terra. Tal fato indica que ganhos de produtividade na terra poderia acomodar o cenário de expansão sem pressão por competição e promovendo a diminuição do desmatamento. Portanto, a produção de cana

destinada ao etanol provoca pequenas mudanças diretas e indiretas no uso da terra (LUC e ILUC) no Brasil com reflexos relativamente pequenos sobre o preço dos insumos alimentares e, principalmente, sobre o preço do alimento final. E que tais mudanças podem ser suavizadas por meio de ganhos de produtividade na terra.

ABSTRACT

SOUZA, Géssica Cardoso Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2017. **Sugarcane expansion scenarios and their impacts on land use in Brazil: exercises based on a computable general equilibrium model.** Advisor: José Gustavo Feres. Co-adviser: Ângelo Costa Gurgel.

Brazil is considered a world leader in the production of ethanol derived from sugarcane. In the last decades, the sugarcane sector presented records of production, planted area and area harvested. This rapid expansion raises some questions and concerns about environmental, economic and social impacts, not only in the producing region/country, but in all other regions/countries. A recurrent discussion in the literature, for example, is whether there is availability of arable land that can harbor the expansion of sugarcane crops, without causing greater harm to the environment and society, such as worsening deforestation and increases in food prices, respectively. Thus, the main objective of this thesis was to project the impact of an increase in the demand for sugarcane destined for ethanol on land use and food production in Brazil, in scenarios of expansion and stagnation of production. The methodology used was the one of general equilibrium, with modifications in the modeling in order to make the analysis feasible. One of the modifications in the model was the incorporation of a land use module and a conversion cost between the different types of land, allowing to capture the direct and indirect changes of land use, Direct Land Use Change (LUC) and Indirect Land Use Change (ILUC), due to an expansion of sugarcane destined for ethanol. The results suggest that Brazil has enough land to accommodate sugarcane growth projected for the year 2030. The expansion would occur at the expense of crop and pasture areas, mainly. The impact on deforestation would be relatively small, mainly in the North. There was competition between sugarcane production and crops, however, the decrease of crop areas did not seem to impact significantly on the price of food inputs and on the price of the final food. It was also verified that the regions accommodate the production of food inputs in order to satisfy the national and international demand for food, mainly the North region. Finally, it was found that an increase in the productivity of the land used in the production of sugar cane has a sparing effect. This fact indicates that gains in productivity on land could accommodate the scenario of expansion without pressure for competition and promoting the reduction of deforestation. Therefore, cane production for ethanol causes small direct and indirect land use changes (LUC and ILUC) in Brazil with relatively small effects on the price of food inputs

and, above all, on the price of the final food. And that such changes can be smoothed through gains in productivity on land.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

São diversos os fatores que desencadeiam o recente aumento de interesse pela produção de biocombustíveis. Dentre eles, vale destacar a instabilidade do preço do barril de petróleo e o benefício global em adotar fontes de energia limpa, a fim de reduzir as emissões de gases do efeito estufa no setor de transporte. O principal biocombustível produzido no Brasil é o etanol extraído da cana-de-açúcar, utilizado, basicamente, na combustão interna de motores de veículos leves. A partir de 2003, com a introdução, e posterior crescimento das frotas de veículos “flexfuel”, a gasolina passou a ser substituída pelo etanol em larga escala. No ano de 2010, o etanol já havia substituído mais da metade da gasolina demandada no Brasil, e os “flexfuel” representavam mais de 55% dos veículos comerciais leves vendidos no país, de acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2016).

O Brasil é considerado um líder mundial na produção de etanol derivado da cana-de-açúcar cujo a maior região produtora é a centro-sul. A produção de etanol no país chegou a 30,2 bilhões de litros, na safra de 2015/2016, contra 5,8 bilhões de litros na safra 1982/1983. Acompanhando a evolução do setor, está a produção canavieira nas últimas décadas. Na safra de 1982/1983, foram produzidas 102 milhões de toneladas de cana-de-açúcar; já na de 2015/2016, a produção chegou a 666 milhões de toneladas - ou seja, houve um crescimento de cerca de 500% em pouco mais de quatro décadas. O crescimento da produção vem acompanhado de uma forte expansão da área colhida de cana, que em 1983 era de 3,6 milhões de hectares. Já no ano de 2015 aumentou para 9,6 milhões de hectares (UNICADATA, 2017)¹.

A rápida expansão da área reservada à produção de cana-de-açúcar provoca alguns questionamentos e preocupações acerca dos impactos socioambientais e econômicos. Questões relacionadas aos custos da mão-de-obra e do capital, à deterioração das condições de vida nos municípios produtores de cana, à migração de trabalhadores de outras regiões, à destruição das atividades tradicionais, ao aumento da violência, entre outros aspectos, vêm sendo amplamente discutidas na literatura (CHAGAS *et al.*, 2008). Outro aspecto, tão preocupante quanto os anteriores, está na disponibilidade de terra agricultável que possa abrigar a expansão da cultura da cana-de-açúcar. Por ser uma atividade intensiva no uso da terra, as ameaças, diretas e indiretas, sobre o uso do solo, podem gerar consequências

¹ Site <http://www.unicadata.com.br/>

ambientais graves por meio da diminuição de áreas florestais, por exemplo. Ou, ainda, gerar consequências para a população economicamente vulnerável, por meio do aumento dos preços dos alimentos (FAO, 2013). Isto pode acontecer se a expansão da cana-de-açúcar ocorrer sobre as plantações de culturas alimentares, diminuindo a produção nos setores de insumos alimentares, ou até mesmo, a oferta final de alimento.

Subjacente à discussão que relaciona a produção de insumos energéticos com os aumentos dos preços dos alimentos e desmatamento, encontra-se a questão dos efeitos diretos e indiretos das mudanças dos usos do solo (GAZZONI, 2013). A mudança direta no uso da terra (LUC, na sua sigla em inglês) acontece sempre que a cobertura de determinada área é convertida em outra. Um exemplo disso é quando os hectares destinados à produção de uma cultura qualquer, como a soja, são utilizados na produção de outra, como a cana-de-açúcar. Ou, ainda, quando a expansão de uma cultura, como a cana-de-açúcar, invade áreas que originalmente não são destinadas a plantações, como as áreas de pasto. Já a mudança indireta no uso da terra (ILUC, na sua sigla em inglês) é um efeito de segunda ordem, pois ocorre quando a mudança de uso em uma região causa mudança de uso em outra. Uma ilustração disso é quando se diminui a produção de soja em uma região, em detrimento de um aumento do cultivo de cana-de-açúcar, o que induz à produção de soja em outra região. Ou, ainda, quando a própria pastagem se desloca em direção às áreas de floresta, em detrimento de uma expansão das culturas sobre as pastagens.

Uma das possíveis consequências do aumento na produção de insumos energéticos seria a redução na produção alimentícia. Uma vez que a demanda por alimentos não tende a diminuir, a tendência é que novas terras sejam convertidas a culturas alimentares. Esta conversão pode ocorrer sobre as pastagens ou por meio do desmatamento de florestas naturais, em qualquer região ou país do mundo, provocando um LUC ou ILUC (GAZZONI, 2014). A conversão de pastagens naturais em culturas pode, ademais, intensificar o desmatamento, uma vez que a expansão da pecuária pode ocorrer em direção às matas. Portanto, a possibilidade de desmatamento, tanto via expansão da agricultura quanto via deslocamento de pastagens para áreas de floresta, torna questionável o quanto os biocombustíveis são realmente uma alternativa vantajosa na diminuição das emissões dos gases do efeito estufa.

Nesse sentido, os trabalhos seminais de Searchinger *et al.* (2008a) e Fargione *et al.* (2008), e posteriormente, Lapola *et al.* (2010), atribuíram ao ILUC proveniente da produção do biocombustível um déficit de carbono significativo, que levaria anos para ser compensado, cancelando os benefícios climáticos dos combustíveis renováveis (análises mais otimistas

podem ser encontradas em Gurgel *et al.*, 2011, Nassar *et al.*, 2010, dentre outros). A partir disso, o conceito de ILUC passou a permear políticas públicas nos principais países produtores e importadores de biocombustíveis. Nos EUA, em 2010, a United States Environmental Protection Agency (EPA) fixou limites obrigatórios de emissões no ciclo de vida de produção dos combustíveis renováveis. No Reino Unido, a Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) exigiu que os fornecedores de combustível informassem os impactos diretos da produção de biocombustíveis. Já a União Europeia (UE) aprovou a Renewable Energy Sources Directive, englobando critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e um mandato para que se considerasse a ILUC. Além disso, a UE criou e incentivou sistemas de certificação para biocombustíveis, tanto domésticos quanto importados. Todas essas medidas e políticas de fiscalização, adotadas pelos principais importadores de biocombustíveis, impactam diretamente o mercado brasileiro, que é um grande exportador (GAZZONI, 2014). Para que o Brasil não seja prejudicado por essas barreiras não-tarifárias, é necessário se adequar aos critérios ambientais e, para isso, faz-se necessário compreender a dinâmica e intensidade do LUC e ILUC em nível nacional.

A fim de verificar quais tipos de terras foram utilizadas diretamente na expansão da cana-de-açúcar no Brasil, Nassar *et al.* (2008) fizeram uso de imagens de sensoriamento remoto para os anos de 2007 e 2008, e comprovaram que a expansão da commodity ocorreu em detrimento da substituição de áreas agrícolas e áreas destinadas a pastagens. Nos estados com maior expansão, Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, o total de áreas deslocadas pelo aumento da cana-de-açúcar chegou a 1.022.000 hectares em 2007 e 1.162.203 hectares em 2008. Em ambos os anos, as classes de terra, agrícola e pecuária, foram, juntas, responsáveis por 98,1% da área total deslocada para a expansão da cana. Desse valor, somente a classe agrícola foi responsável por 52,7%, cerca de 1.152.000 hectares; enquanto a classe de pasto teve responsabilidade por 45,4%, cerca de 991.000 hectares. Macedo *et al.* (2005) evidenciam, também, que a expansão da cana-de-açúcar vem ocorrendo, principalmente, em solos pobres, como pastagens e cerrados fortemente antropizados, dados que corroboram com os resultados de Nassar *et al.* (2008).

As perspectivas para o mercado de cana-de-açúcar e etanol são promissoras para o Brasil. As projeções da OCDE/FAO (OCDE/FAO, 2015) ² indicam uma produção de cana de açúcar de aproximadamente 884 milhões de toneladas em 2024, com uma área colhida de 11,5 milhões de hectares, e a produção de etanol chegará a 42,5 bilhões de litros. Já a Federação

² OECD STAT. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. Disponível em: http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2015&lang=en Acesso em: 02 fev 2016.

das Indústrias do Estado de São Paulo, em suas projeções para o agronegócio brasileiro (FIESP, 2016), estima que, em 2027, a produtividade da cana-de-açúcar será de 84 toneladas/hectar, e a demanda doméstica por etanol será de 37,5 bilhões de litros. Recentemente, a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) divulgou na “Audiência Pública na Comissão Mista sobre Mudanças Climáticas: O papel do etanol para o Clima”³ o resultado de um estudo em andamento em que se estima, para 2030, uma produção brasileira de 1015 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e uma área colhida de 10,7 milhões de hectares.

Nesse contexto, tais fatores expressam relevância para se investigarem os impactos da expansão da cana-de-açúcar no Brasil, quanto ao uso indireto da terra e quanto à produção agrícola de alimentos. Como observado por Gazzoni (2014), uma das maiores dificuldades do tema é estimar a contribuição exclusiva dos biocombustíveis sobre um fenômeno multifacetado, como a mudança indireta do uso da terra. Uma vasta literatura procura avaliar essas relações: muitos desses estudos fazem uso de modelos de equilíbrio geral computável (EGC) nas simulações. Esse tipo de modelagem vem se mostrando adequada a esse tipo de análise, uma vez que possui a capacidade de representar as relações de comércio entre diferentes países e regiões, além da representação das interações entre diversos agentes e setores econômicos, conseguindo incorporar o comportamento dos produtores com relação à demanda por terra segundo as diferentes possibilidades de uso (FARIA, 2012). A compreensão das dinâmicas que envolvem a substituição de produtos agrícolas e a conversão da terra em seus diferentes usos, tanto direta quanto indiretamente, auxiliam os formuladores de políticas públicas em decisões que envolvam tanto questões econômicas quanto ambientais.

Dessa forma, o objetivo principal dessa dissertação é projetar o impacto do aumento da produção do etanol derivado da cana-de-açúcar sobre o uso da terra e sobre a produção de alimentos no Brasil. Três questões principais surgem quando se analisa conjuntamente o uso do solo e a produção de biocombustíveis. A disponibilidade de terra realmente é uma restrição ao desenvolvimento dos biocombustíveis? Até que ponto a expansão dos biocombustíveis é a causa da abertura de novas terras agrícolas e da conversão entre os diferentes usos do solo? Por fim, até que ponto as mudanças, diretas e ou indiretas, do uso do solo poderiam estar relacionadas com a redução da produção de alimento e o conseqüente aumento de preços destes? As respostas a essas perguntas dependem das suposições feitas em relação aos

³ https://www.embrapa.br/noticias-rss/-/asset_publisher/HA73uEmvroGS/content/id/18159909

rendimentos das culturas e dos diferentes tipos de biocombustíveis; da disponibilidade e produtividade das terras; dentre outros aspectos. A disponibilidade de terras depende das suposições quanto às terras com real potencial para a produção de culturas energéticas e a quantidade dessas terras, de fato, disponíveis globalmente.

1.2 O problema e sua importância

Como o Brasil é um país com vasto estoque de terra com capacidade de conversão para uso agrícola, além de ser um grande produtor e exportador de biocombustíveis, a discussão sobre LUC e ILUC derivados da expansão dos insumos energéticos se torna uma pauta importante entre os pesquisadores. Como observado por Babcock (2009), “the debate about whether biofuels area a good thing now focuses squarely on whether their use causes too much conversion on natural lands into crop and livestock production around the world”.

A conversão direta entre as terras destinadas à produção de alimentos e de insumos energéticos pode ser uma das causas dos aumentos dos preços dos alimentos, sentidos mundialmente nas últimas décadas (OCDE/FAO, 2015). De acordo com Hochman *et al.* (2011), diversos fatores econômicos e climáticos podem estar relacionados aos aumentos desses preços, como o rápido crescimento econômico dos países emergentes, os problemas climáticos nas principais regiões produtoras de grãos, assim como a falta de investimento em pesquisas nas áreas da agricultura, tecnologia e infraestrutura, as quais poderiam estagnar o crescimento da produtividade. Alguns outros fatores afetariam tanto a demanda quanto a oferta de culturas alimentares. A instabilidade do preço do barril de petróleo, por exemplo, estimularia a utilização de combustíveis alternativos, impulsionando as políticas comerciais de incentivo aos biocombustíveis e de cultivo aos insumos energéticos.

Nos EUA, por exemplo, a expansão do etanol de milho é responsável pelo aumento da demanda por milho que, conseqüentemente, eleva o preço da commodity. Uma vez que o milho é amplamente utilizado na alimentação humana, seu preço elevado estimula a demanda de grãos substitutos, como o arroz e o trigo, provocando, também, um aumento nos preços destes grãos, (ROSEGRANT, 2008). Kohlhepp (2010) atribui o aumento dos preços dos alimentos básicos no Brasil a diversos fatores: o aumento do preço do petróleo, dos combustíveis, adubos, pesticidas e custos de transporte. A diminuição de áreas de plantio de culturas alimentares e o aumento do cultivo da cana-de-açúcar não estariam relacionados ao aumento dos preços dos alimentos. Segundo o autor, o problema central se concentra na falta do poder aquisitivo das classes sociais baixas. Em contra partida, Hoffmann (2006) acredita

que o preço dos alimentos no Brasil está intimamente relacionado à produção de etanol. Segundo esse autor, ainda que haja grande quantidade de terras subutilizadas no Brasil, os proprietários de terras ociosas utilizam-nas somente se houver um estímulo na forma de aumento de preços.

De modo geral, a literatura que relaciona a produção dos insumos energéticos à de culturas alimentares e ao uso indireto da terra, abordando as conversões direta e indireta do uso da terra (LUC e ILUC), pode ser classificada em duas vertentes, segundo a metodologia adotada: modelos de equilíbrio parcial e modelos de equilíbrio geral (EGC). Por exemplo, Rosegrant *et al.* (2008) utilizam um modelo de equilíbrio parcial para avaliar os impactos da expansão do milho dos EUA em um cenário de expansão de 50% da demanda por culturas energéticas até 2020. Os resultados mostram um forte aumento dos preços dos alimentos e do número de crianças desnutridas, principalmente na região da África subsaariana. Walsh (2003) analisa a produção de etanol nos EUA, em 2007, sobre cenários de diferentes valores de produtividade para diferentes culturas alimentares. Os autores preveem um aumento de 13%, 6%, e 30% no preço do milho, trigo e soja, respectivamente, no ano de 2025, além de uma conversão de 33 milhões de hectares em terras de cultivo. Em contra partida, as simulações de Chakravorty *et al.* (2012) sugerem que as forças do lado da demanda por alimento constituem-se como as principais responsáveis pelo aumento dos preços dos mesmos. Desse modo, as políticas de obrigatoriedade para o uso de biocombustíveis possuiriam efeitos limitados sobre o preço dos alimentos.

Gurgel *et al.* (2008), por meio de um modelo EGC, procuram investigar o potencial produtivo e as implicações da indústria de biocombustíveis de segunda geração em dois cenários alternativos, com e sem política de mitigação das emissões de GEE. A conversão entre terras naturais e terras produtivas é modelada explicitamente de duas maneiras diferentes: por meio da elasticidade da oferta de terra, baseada nas repostas observadas desta, e pela consideração exclusiva dos custos diretos da conversão de terra. Os resultados relacionados ao LUC e ILUC diferenciam-se de acordo com a abordagem de conversão utilizada. Em uma das abordagens, a intensificação da produção de biocombustíveis ocorre substancialmente sobre as pastagens, enquanto, na outra, o desmatamento é mais significativo.

Banse *et al.* (2008) fazem uso de um modelo de EGC, utilizando-se da oferta da terra, que é modelado endogenamente. O objetivo dos autores é avaliar as implicações globais e setoriais de políticas de incentivo ao biocombustível na União Europeia. Os resultados indicam que um aumento da importação de biocombustíveis pela UE impacta a agricultura em nível global e europeu, com uma expansão significativa do uso da terra em países do NAFTA.

Melillo *et al.* (2009) utilizam um modelo EGC que, além de considerar o uso da terra, considera variações de origem biogeoquímica, como a utilização de fertilizantes. Os autores, ao avaliarem os efeitos do LUC e ILUC proveniente da expansão de um programa global de bioenergia celulósica no século XXI, concluem que o ILUC da expansão dos biocombustíveis poderia ser responsável por, até, duas vezes mais perda de carbono do que o LUC. No entanto, a quantidade desmatada e o nível de emissões dependerão, em grande parte, das políticas de proteção florestal adotadas pelos países. Em um cenário com políticas de proteção às florestas e incentivo ao uso de fertilizantes, as emissões são reduzidas drasticamente.

Já Hertel *et al.* (2010) concluem que políticas de obrigatoriedade de utilização dos biocombustíveis nos EUA e na EU impactam, substancialmente, o uso da terra global. Os autores analisam o impacto de uma política de obrigatoriedade de 6,25% em 2015 na União Europeia. Os resultados indicam um aumento de 23% da área destinada à cana-de-açúcar no Brasil, em prol, principalmente, das áreas de pastagens, e uma redução das áreas destinadas às culturas alimentares no Brasil, EUA e UE. Com os efeitos do ILUC, ocorre uma diminuição da cobertura florestal nos EUA, Canadá, UE, Brasil, América Latina, África e Oceania. Nassar *et al.* (2010) utilizam uma metodologia de alocação causal, a qual se baseia em dados históricos disponíveis para o Brasil, a fim de verificar o impacto do LUC e ILUC sobre as emissões. Segundo os autores, a cana-de-açúcar teve pouca influência direta e indireta sobre o desmatamento e as emissões do Brasil. Somente 9,7 mil hectares seriam provenientes de conversão direta, enquanto 181 mil hectares seriam de conversão indireta. Esta última corresponderia a somente 8% do ILUC total.

Em contra partida, Lapola *et al.* (2010) consideram que a expansão planejada de biocombustíveis no Brasil pode causar significativas mudanças, diretas e indiretas, no uso da terra. Um aumento na produção de etanol derivado da cana, entre 2003 a 2020, seria responsável por 41% do desmatamento indireto, e o aumento da produção de diesel da soja por 59%. Ocorreria a expansão de 121.970 km² de pastagens em áreas florestais, e 46.000 km² em outros habitat nativos. Essas transformações acarretariam um déficit de carbono que levaria 211 anos para ser revestido. No entanto, os autores concluem que o óleo de palma seria o insumo energético que causaria a menor mudança no uso da terra e o menor débito de carbono. Além disso, um aumento da taxa de lotação de gado de 10% evitaria o ILUC proveniente dos biocombustíveis, sem afetar a oferta de alimentos.

Gurgel (2011) procura verificar os possíveis impactos sobre a produção agrícola e sobre o uso da terra, provenientes de um crescimento na demanda de etanol no Brasil e nos EUA. Três cenários de expansão foram analisados e em um deles foi considerado a eliminação dos

subsídios à produção de etanol e das tarifas de importação nos EUA. Os resultados dos três cenários mostram uma redução das áreas destinadas às culturas alimentares. No entanto, somente no cenário com eliminação de subsídios e tarifas, as áreas florestais sofreriam significativas reduções. Nos demais cenários de crescimento da demanda, a expansão da cana-de-açúcar aconteceria à custa da redução das áreas de pastagens, silvicultura, campos e savanas.

Ferreira Filho e Horridge (2014), ao analisarem os efeitos da expansão da produção de etanol sobre o ILUC, concluíram que, no Brasil, para um crescimento projetado até 2020, seria necessário expandir somente 0,75% de áreas cultiváveis, com quedas nas áreas de pastagens de 0,21% e de terras florestais de 0,65%. Portanto, os efeitos ILUC da expansão do etanol seriam muito pequenos. Ademais, a produção de etanol não desencadearia aumentos dos preços dos alimentos, uma vez que a quantidade de novas terras necessárias para a expansão é pequena.

Observa-se, portanto, uma controvérsia, em relação à competição entre os biocombustíveis e os alimentos, e a intensidade do LUC e ILUC proveniente da expansão dos insumos energéticos. Encontram-se na literatura diferentes resultados e conclusões, que variam de acordo com a estratégia de modelagem utilizada; o tipo de biocombustível considerado; os cenários simulados; os pressupostos; dentre outros aspectos. Em geral, as diferenças mais fortes nos resultados estão relacionadas às diferenças nos custos de expansão da terra, às respostas de produtividade endógena e aos pressupostos sobre as terras cultiváveis (SCHMITZ *et al.*, 2014).

Os pesquisadores que desenvolvem e utilizam modelos econômicos para estudar mudanças no uso da terra ainda encontram muitos desafios de como integrar a área cultivada e a área florestal manejada. Sabe-se muito pouco sobre os custos de conversão de um tipo de terra em outro e sobre a disponibilidade biofísica e socioeconômica de pastagens para a conversão de terras. Além disso, a disponibilidade de base de dados sobre o uso da terra é uma grande limitação e as áreas de proteção ambiental possuem uma grande incerteza (SCHMITZ *et al.*, 2014). Como observado por Baker (1989), a modelagem espacial também é pouco desenvolvida, em grande parte porque a própria mudança de paisagem é mal compreendida. Vale ainda destacar que, em relação os modelos EGC, estes foram inicialmente construídos para analisar questões de política macroeconômica e comercial, e que, apenas recentemente, entraram nos campos de investigação sobre alterações climáticas e mudança de uso da terra. Dessa forma, a construção ou aprimoramento de modelos EGC que explicitem o uso do solo,

e captem a conversão deste de forma mais sofisticada e eficiente, faz-se extremamente relevante na discussão em questão.

Dessa forma, o objetivo principal dessa dissertação é investigar o impacto, sobre o uso da terra e sobre a produção de alimentos no Brasil, de um aumento na produção do etanol derivado da cana-de-açúcar no país. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado como metodologia, o Projeto de Análise de Equilíbrio Geral (PAEG), com alguns aprimoramentos necessários para tornar a análise factível. Uma das modificações no modelo foi a incorporação de um módulo de uso da terra capaz de captar o LUC e o ILUC. Um custo de conversão entre diferentes tipos de solos foi abordado explicitamente, considerando a ideia de escassez da terra segundo David Ricardo. Por meio da função de custo de conversão, espera-se que os parâmetros variem de acordo com cada macrorregião, levando em consideração a heterogeneidade da terra. Além disso, uma nova representação da demanda final do agregado familiar por alimento foi incorporada no modelo, dada a necessidade de considerar a heterogeneidade na intensidade do uso do fator terra associado aos diferentes componentes da demanda.

A maioria dos modelos de EGC utilizam funções CES de demanda, que estão associadas à elasticidade-renda da demanda unitária. No entanto, geralmente, produtos agrícolas e alimentares possuem elasticidade-renda menor que um, o que torna a utilização da função CES inadequada. Algumas funções alternativas podem ser utilizadas, a fim de promover uma representação mais fidedigna à realidade. A função do tipo LES, por exemplo, associada a preferências Stone-Geary, considera uma quantidade mínima de consumo para a subsistência do agente representativo. Tal representação se torna mais realista e, portanto, foi incorporada na dissertação em questão. Esses refinamentos permitem uma análise mais sofisticada de problemas que envolvem processos agrícolas, como a produção de biocombustíveis. Com elasticidades de uso da terra e de demanda mais flexíveis, choques que estimulem a demanda ou oferta por biocombustíveis tendem a impactar, de forma mais significativa, os demais mercados agrícolas.

1.3 Hipótese

A expansão da produção da cana-de-açúcar destinada ao etanol, no Brasil, impacta o uso da terra de forma direta e indireta, provocando competição entre a produção de cana-de-açúcar e a de insumos alimentares, além de intensificar o desmatamento. A competição entre a

produção de cana-de-açúcar e insumos alimentares impactaria diretamente nos preços final dos alimentos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Projetar o impacto de um aumento da demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol sobre o uso da terra e sobre a produção de alimentos no Brasil, em cenários de expansão e estagnação da produção.

1.4.2 Objetivos específicos

- i. Testar se um aumento na demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol provoca um *Direct Land Use Change* (LUC) e *Indirect Land Use Change* (ILUC) no Brasil e qual a intensidade desse processo de conversão;
- ii. Simular a existência de competição entre a produção da cana-de-açúcar destinada ao etanol e a produção de alimentos e se essa competição impacta diretamente sobre os preços dos alimentos;
- iii. Aperfeiçoar um modelo de equilíbrio geral computável, o modelo Projeto de Análise de Equilíbrio Geral (PAEG), com a desagregação e especificação detalhada do uso da terra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção está dividida em três partes. A primeira apresenta os fundamentos microeconômicos do modelo de equilíbrio geral. A segunda discute os aspectos conceituais da inclusão do uso da terra como insumo produtivo no modelo utilizado na dissertação em questão. A terceira apresenta uma breve revisão da literatura sobre os modelos de EGC com representação do fator terra. Essa última parte se faz necessária, visto que alguns desses modelos foram utilizados como referência na incorporação do fator de produção terra do modelo PAEG.

2.1 A teoria econômica do equilíbrio geral

De maneira generalizada, a literatura que relaciona o uso da terra e a produção de culturas alimentares com a produção dos insumos energéticos de forma quantitativa pode ser classificada segundo duas vertentes, de acordo com a metodologia adotada: modelos de equilíbrio parcial e modelos de equilíbrio geral. Os modelos de equilíbrio parcial possuem a capacidade de representar, com detalhes, o mercado estudado de forma isolada; no entanto, não são capazes de captar o impacto sobre os demais mercados do sistema econômico. Um exemplo são as metas de combustíveis renováveis para o setor de transporte. Essas metas não afetam somente o preço e a quantidade de equilíbrio do mercado de biocombustíveis, mas afetam, também, os preços e as quantidades dos mercados agrícolas, bem como a alocação da terra para os diferentes tipos de uso, dentre outros mercados e setores. Todas essas são questões relevantes que os modelos de equilíbrio parcial não conseguem capturar.

A estrutura de modelagem que procura compreender os impactos dos biocombustíveis sobre a economia global é denominada modelagem de equilíbrio geral computável (EGC). Nesse tipo de modelo, os mercados são inter-relacionados e equilibram-se simultaneamente. Modelos de EGC são frequentemente utilizados para analisar os efeitos de choques setoriais na economia como um todo, dada a importância de representarem as relações de comércio entre diferentes países e regiões e as interações de diversos agentes e setores econômicos em análises que envolvem o crescimento dos biocombustíveis e dos insumos energéticos (GURGEL, 2009).

O fundamento conceitual de um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) inicia-se com o fluxo circular de mercadorias em uma economia fechada. Nesta, os principais representantes do diagrama são as famílias e as empresas. As famílias possuem os fatores de produção, terra, capital e trabalho e são os consumidores finais das mercadorias produzidas pelas empresas. As empresas alugam os fatores de produção das famílias e produzem os bens e serviços que as famílias irão consumir. As empresas pagam salários/aluguéis às famílias, em troca dos insumos de produção, e as famílias gastam esses salários/aluguéis adquirindo os bens e serviços das empresas. No fluxo circular, o papel do governo é passivo, pois somente recebe impostos e retorna essas receitas para empresas e famílias, através de compra de bens e serviços para provimento de serviços públicos e por meio de subsídios e transferências de montante fixo. Esse processo de troca entre famílias e empresas é o início do fluxo circular (WING, 2004).

As hipóteses de uma economia em equilíbrio geral implicam que fluxos de bens e fatores devem ser absorvidos pelo processo de produção e pelo consumo na economia, ou seja, os produtos das empresas devem ser totalmente consumidos pelas famílias, e os fatores primários devem ser totalmente empregados pelas empresas. Assim, a quantidade de mercadoria produzida pelas firmas deve ser igual à quantidade de mercadoria demandada pelas famílias. O valor de uma unidade de cada produto na economia deve ser igual à soma dos valores de todos os insumos utilizados no processo de produção. Dessa forma, os rendimentos de escala da produção são constantes, e os mercados podem ser considerados perfeitamente competitivos, permitindo que, na condição de equilíbrio, os produtores estejam no lucro zero. Considera-se, também, que as famílias gastam toda a renda que recebem. As famílias esgotam sua renda em compras de mercadorias, de modo que nenhuma quantidade de qualquer fator esteja ociosa, refletindo o princípio do balanço dos rendimentos (WING, 2004).

O equilíbrio do fluxo econômico é mostrado na Figura 1, e resulta da conservação do produto e valor. A conservação do produto implica que tudo o que é produzido pelas empresas é consumido pelas famílias, e a conservação do valor implica que o valor das despesas deve ser equilibrado com o valor dos rendimentos, para cada atividade na economia, mantendo o princípio contábil de equilíbrio orçamentário. Nenhum produto ou valor pode aparecer no fluxo de forma aleatória: a produção de cada atividade, por exemplo, deve estar acompanhada por algum "uso", e a renda de cada atividade deve ser equilibrada por alguma "despesa". Nenhum produto ou valor pode desaparecer do fluxo circular. Estas regras contabilísticas são os pilares do equilíbrio geral walrasiano (WING, 2004).

As condições de oferta igual à demanda (Market clearance), de mercados perfeitamente competitivos, lucro zero e do balanço dos rendimentos, são empregadas por modelos EGC para resolver, simultaneamente, os preços e a alocação de bens e fatores que garantam o equilíbrio geral. Na Figura 1, o equilíbrio é representado pela linha sólida, que simboliza os componentes do fluxo circular. O equilíbrio, portanto, pode ser modelado por meio das trocas comerciais, entre commodity e os fatores de produção, sem, necessariamente, representar ou manter o controle das transações financeiras. Os modelos de EGC, normalmente, não representam as transações por meio de moeda: as operações são representadas pela comparação entre diferentes quantidades de mercadorias, tendo estas seus valores determinados com base em alguma unidade de conta comum. Assim, os fluxos são expressos em termos do valor da mercadoria, cujo preço é considerado flexível. Por esta razão, os modelos de EGC consideram somente os preços relativos (WING, 2004).

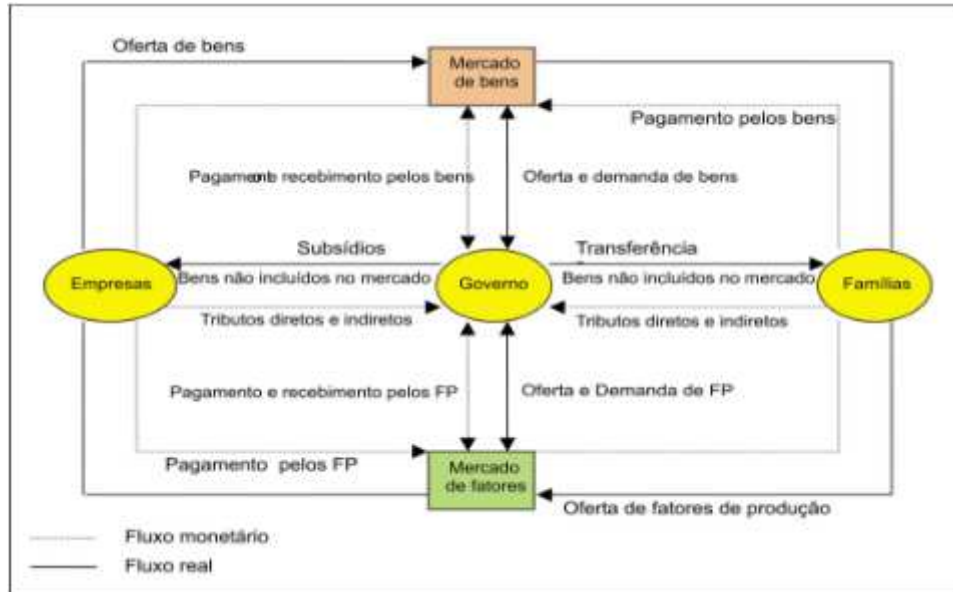


Figura 1: Fluxo circular da economia
Fonte: Adaptado de Montella (2004)

O fluxo circular e a estrutura dos modelos de EGC podem ser ilustrados algebricamente. Para tanto, considera-se uma economia fechada e de livre mercado, composta por N indústrias, cada uma produzindo o seu próprio tipo de mercadoria. O número de famílias é indeterminado e estas possuem uma dotação de F diferentes tipos de fatores primários. Algumas suposições sobre essa economia são feitas: não existem distorções fiscais ou de subsídios, ou restrições ao comércio; as famílias agem de forma coletiva, na qual um agente representativo aluga os fatores para as indústrias e recebe as rendas em contrapartida. Os agregados familiares, em seguida, compram as mercadorias N para satisfazerem seus diferentes tipos de exigências, que serão chamadas de D .

Cada indústria se comporta como uma empresa representativa que adquire os fatores F e utiliza quantidades de N mercadorias como insumos intermediários, com a finalidade de produzir uma quantidade y de seu próprio tipo de produto. O índice i representa o conjunto de mercadorias $i = \{1, \dots, N\}$; o índice j representa o conjunto de setores da indústria $j = \{1, \dots, N\}$; o índice f representa o conjunto de fatores primários $f = \{1, \dots, F\}$; e o índice d o conjunto de demanda final $d = \{1, \dots, D\}$. O fluxo circular pode ser caracterizado pela matriz de insumo-produto $N \times N$, denominada \bar{X} ; uma matriz $F \times N$ de insumo-fator das indústrias, denominada \bar{V} ; e uma matriz $N \times D$ de mercadoria utilizada por atividade produtiva versus a demanda final, denominada \bar{G} .

A maneira como os elementos das três matrizes se dispõem, de forma a representar o fluxo circular, segue abaixo. O valor da produção bruta da indústria i nada mais é que a soma

dos valores dos insumos intermediários i consumidos pela indústria j , \bar{x}_{ij} mais a demanda final, d que consome essa produção \bar{g}_{id} :

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^N \bar{x}_{ij} + \sum_{d=1}^D \bar{g}_{id} \quad (1)$$

Como as empresas da economia empregam plenamente a dotação de fatores f do agente representativo, temos:

$$\bar{V}_f = \sum_{i=1}^N \bar{v}_{fj} \quad (2)$$

Como as indústrias produzem com lucro econômico zero, o valor da produção bruta do setor da j^{th} , \bar{y}_j deve ser igual à soma dos valores dos insumos intermediários i pela indústria j , \bar{x}_{ij} com o fator primário f , que a indústria utiliza na sua produção \bar{v}_{fj} :

$$\bar{y}_j = \sum_{i=1}^N \bar{x}_{ij} + \sum_{f=1}^F \bar{v}_{fj} \quad (3)$$

A renda do agente representativo, \bar{v}_{fj} , nada mais é que a soma dos elementos de \bar{V}_f , que por sua vez deve ser igual à soma dos elementos de \bar{g}_{id} . A renda do agente representativo é a soma das receitas de aluguel dos fatores primários de produção. Logo:

$$\bar{m} = \sum_{f=1}^F \bar{V}_f = \sum_{i=1}^N \sum_{d=1}^D \bar{g}_{id} \quad (4)$$

A fim de representar a lógica do fluxo circular e as equações acima, as matrizes \bar{V} , \bar{X} e \bar{G} devem ser organizadas de acordo com a Figura 2. O diagrama formado é conhecido como matriz de contabilidade social (MCS), que representa as relações entre as indústrias e as atividades, em uma economia equilibrada, em um determinado período do tempo.

duas categorias de insumos: os insumos intermediários e os fatores primários. O comportamento dos produtores de cada indústria é otimizador, ou seja, os produtores escolhem alocar os insumos de forma a minimizar seus custos de produção, ficando sujeitos às restrições de disponibilidade de insumos. As restrições são dadas pela tecnologia de produção aninhada em diferentes níveis.

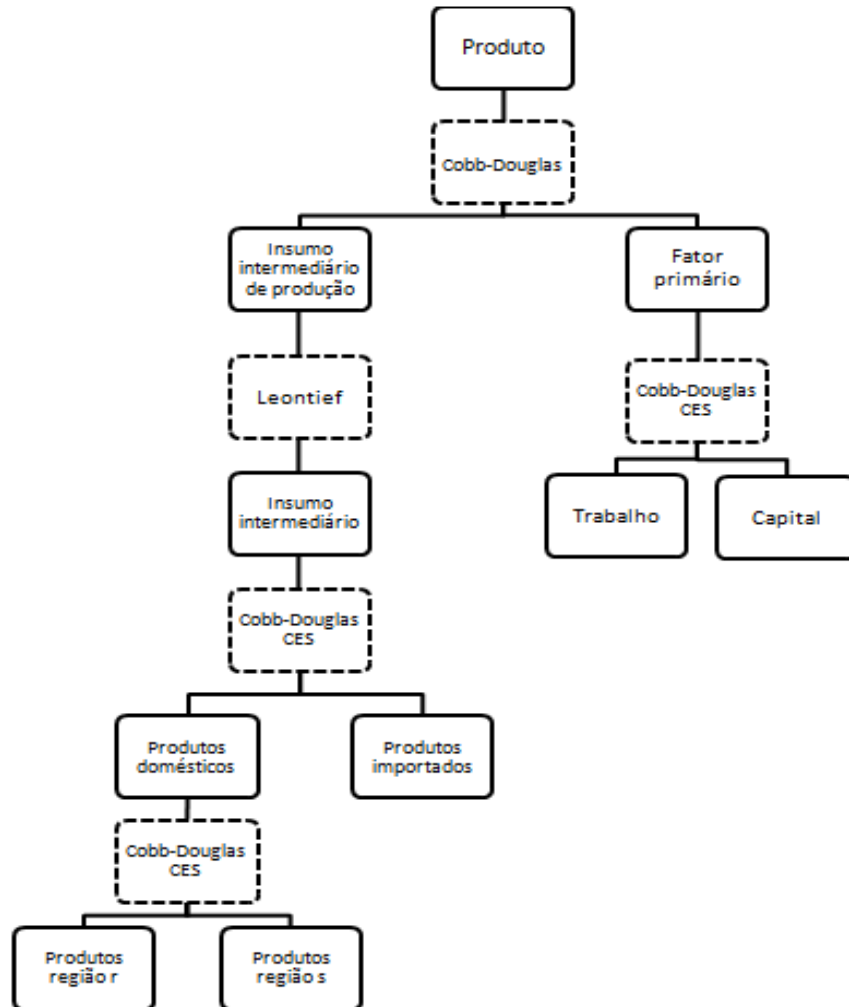


Figura 3: Estrutura padrão da tecnologia de produção de um modelo inter-regional de EGC
Fonte: Adaptado de Haddad (2004)

No primeiro nível, por exemplo, os fatores primários e os insumos intermediários são combinados por uma função de produção, que pode ser do tipo que assume proporções fixas (Leontief) ou do que assume algum grau de substituição entre os insumos (Cobb-Douglas ou CES). As funções de produção CES são menos restritivas do que a Leontief ou a Cobb-Douglas, portanto, são mais utilizadas no nível superior da estrutura de produção. No segundo nível, são combinados os insumos intermediários fixos e a substituição entre capital e trabalho. No terceiro nível, os insumos intermediários produzidos internamente e os insumos

importados são combinados. Por fim, no quarto nível, os insumos produzidos internamente são combinados de acordo com as trocas regionais. Uma das limitações do sistema de produção adotado nos modelos EGC é a falta de capacidade em reconhecer as imperfeições do mercado. Este problema pode ser contornado por meio de fórmulas *ad hoc*, que introduzem economias de escala e comportamento não competitivo na modelagem (Whalley e Trela, 1986), Bröcker (1998a) apud (HADDAD, 2004).

A estrutura de demanda das famílias é representada pela Figura 4. As funções de demanda são derivadas de um problema de maximização de utilidade, geralmente por meio de funções de utilidades como a Cobb-Douglas, CES ou LES, com elasticidades de substituição constantes. A estrutura de demanda do agregado familiar permite que diferentes elasticidades de substituição sejam utilizadas para diferentes bens. No nível superior, ocorre substituição entre os bens domésticos e os bens importados; no inferior, o processo de substituição ocorre entre as regiões domésticas. O uso generalizado de especificações Leontief, Cobb-Douglas e CES, no lado da oferta, e LES, no lado da demanda das famílias, pode ser explicado pelas propriedades estruturais de tais funções. Estas formas funcionais são convenientemente utilizadas em aplicações empíricas, uma vez que são pequenas as exigências para a determinação de parâmetros no processo de calibração dos modelos (Koh et al., 1993 apud Haddad, 2004).

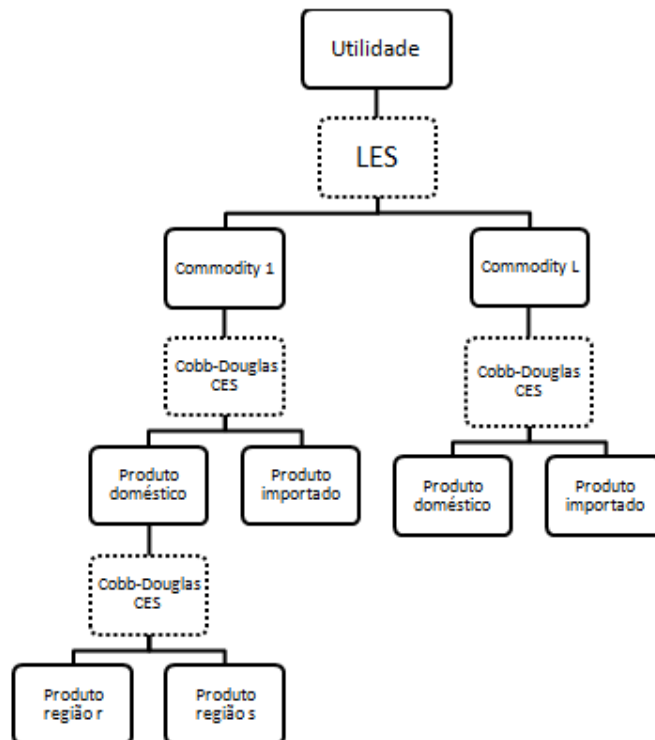


Figura 4: Estrutura padrão da demanda das famílias em um modelo inter-regional de EGC
Fonte: Adaptado de Haddad (2004)

A forma de aplicação dos modelos de equilíbrio geral para análise empírica teve como base duas vertentes: a solução numérica de Scarf (1967a; 1967b) e a vertente baseada em Johansen (1960), ambos citados por Faria (2012). O método de Scarf estabelece uma solução por meio de iterações simuladas entre os agentes, para construção de algoritmos capazes de produzir uma solução numérica em modelos de equilíbrio geral. Portanto, Scarf não construiu um modelo de equilíbrio geral, mas permitiu a avaliação de mudanças no ambiente econômico por meio de técnicas numéricas. Essa estratégia de modelagem é conhecida, na literatura, como tradição americana de modelagem e possui como base sistemas de equações de equilíbrio geral não-lineares. Os resultados, nesse caso, são apresentados em nível e a exigibilidade computacional é maior (FARIA, 2012). O modelo PAEG, utilizado na dissertação em questão, segue a "tradição" Americana de modelagem.

A vertente baseada em Johansen (1960) é conhecida como a tradição norueguesa-australiana de modelagem. Esta vertente se baseia em sistema de equações na forma linear. A base de dados é calibrada com matrizes de insumo produto e são definidas funções de produção para as firmas e funções de demandas para os consumidores. As elasticidades inter-setoriais e entre os insumos de produção também são parametrizadas, e implicações quanto ao investimento, à poupança, a importações e exportações são estabelecidas. Johansen (1960) procura analisar “os desvios da uniformidade no processo de crescimento”, e não o crescimento típico. Como nessa vertente o sistema de equações é linearizado, consequentemente, os resultados se encontram na forma de variação percentual. A exigibilidade computacional é menor, um dos motivos da popularidade dessa tradição. É importante destacar que ambas as estratégias de modelagens se baseiam na teoria microeconômica de equilíbrio geral walrasiano, formalizada por Arrow-Debreu (FARIA, 2012).

Os modelos de EGC podem ser divididos em três categorias quanto à interação entre as diferentes regiões: modelos nacionais, regionais e inter-regionais. Os modelos nacionais representam, endogenamente, a economia de um único país. Os demais países são considerados exógenos e são representados de forma simplificada por vetores de exportação e importação, ou por meio de funções de oferta de exportações e demanda de importações. Os modelos regionais consideram endogenamente diversas regiões do mundo, onde cada conjunto de espaços econômicos nacionais é modelado de forma completa por meio das funções microeconômicas. Os modelos inter-regionais, por sua vez, permitem uma modelagem regional em uma economia nacional, considerando diversas regiões dentro de um mesmo país, além das demais regiões do mundo. Ocorrem interações e processos de

substituição entre os setores de várias regiões do mesmo país, simultânea e endogenamente. Nesse caso, as demais regiões do mundo podem ou não ser tratadas de forma endógena.

As especificações e o banco de dados dos modelos inter-regionais de equilíbrio geral permitem que a abordagem da modelagem ocorra de duas formas: “bottom-up” ou “top-down”. Os modelos “top-down” consideram, inicialmente, uma estrutura nacional e, posteriormente, as variáveis regionais são introduzidas. A relação com as variáveis nacionais é unidimensional, portanto, os resultados regionais dependem dos resultados nacionais, enquanto o inverso disso não ocorre. Nos modelos “bottom-up” ocorre uma interdependência das estruturas nacionais e regionais, permitindo que políticas implementadas em nível regional tenham impactos nacionais, e vice-versa (FARIA, 2012).

O Global Trade Analysis Project (GTAP), por exemplo, é um modelo de equilíbrio geral computável, baseado na tradição australiana de modelagem. É um modelo multi-regional, multi-mercado e estático (HERTEL *et al.*, 1997 apud HERTEL *et al.*, 2010). O modelo GTAP padrão emprega as suposições de retornos constantes de escala e concorrência perfeita em todos os mercados. O equilíbrio geral é garantido por meio de ajuste walrasiano. Um agregado familiar regional, como a União Europeia, por exemplo, utiliza toda a renda da sua região em três tipos de despesas: consumo privado, gastos do governo e poupança, que são regidas por uma função de utilidade Cobb-Douglas.

Uma empresa representativa maximiza seus lucros sujeitos a uma função aninhada de Elasticidade de Substituição Constante (CES), combinando fatores primários de produção e insumos intermediários. As empresas pagam salários/taxas de aluguel, para o agregado regional, em troca de terra, trabalho, capital e recursos naturais. As empresas vendem sua produção para outras empresas particulares, para o governo, e realizam investimentos. As empresas ainda exportam seus produtos comercializáveis e importam insumos intermediários de outras regiões. Estes bens transacionados são diferentes, de acordo com cada região, seguindo o pressuposto de Armington. Assim, o modelo pode acompanhar os fluxos comerciais bilaterais.

O trabalho e o capital são perfeitamente móveis dentro de uma região, porém imóveis entre as regiões. Os gastos do governo são modelado por meio de uma função Cobb-Douglas. O setor de consumo privado das famílias é modelado por meio de uma função *Constant Difference of Elasticity* (CDE) não homotética. Os impostos (e subsídios) são as receitas fiscais líquidas das regiões do agregado doméstico privado, do governo e das empresas. Os preços dos bens e fatores se ajustam até que todos os mercados estejam simultaneamente em equilíbrio geral (HERTEL *et al.*, 2010)

2.2 A terra como fator de produção

De acordo com Lenz (1981), a categoria econômica renda da terra teve início na Escola Fisiocrática, com François Quesnay como principal influente. Desde então, o problema da escassez e de como utilizar de forma eficiente os recursos naturais se tornaram pautas principais nas discussões. A contribuição da Escola Clássica teve início com Adam Smith, com a introdução da categoria lucro econômico e a discussão em relação à formação do valor e à forma da distribuição da riqueza. Em uma de suas obras, Adam Smith já associa a disponibilidade de recursos naturais ao potencial de desenvolvimento de uma nação, para o qual o fator terra seria o principal recurso natural e sua qualidade o principal fator a esse agregado. Há ainda as percepções de Thomas Malthus, em relação aos recursos naturais, que associa a limitação de terra e o crescimento da população à diminuição de bem-estar dos indivíduos. Assim, estes se deparariam com a diminuição da disponibilidade de alimentos.

O economista David Ricardo, além de formular uma teoria completa do valor e da distribuição, criticou os conceitos de Smith sobre a participação do aluguel da terra na formação dos preços e os argumentos de Malthus sobre a relação entre disponibilidade de alimentos e o crescimento geométrico da população, tornando-se o principal autor, dentre os clássicos, na discussão sobre a terra como fator de produção. (LENZ, 1981).

David Ricardo propõe que o exame da categoria econômica renda da terra fosse feito pela ótica da distribuição do produto, identificando-a como a remuneração paga ao proprietário da terra. Dessa forma, a renda da terra seria obtida por uma relação técnica determinada pela existência de diversos graus de fertilidade de terra. Ou seja, a renda da terra seria obtida por meio do produto cultivado na terra marginal. Algumas hipóteses implícitas e explícitas são determinadas por Ricardo. Talvez a mais importante destas seja a hipótese explícita de que a expansão do cultivo na agricultura ocorra das melhores para as piores terras (LENZ, 1981)

A tese fundamental de Ricardo diz que a taxa geral de lucro da economia é determinada pela taxa de lucro agrícola. Esta, por sua vez, é determinada pela renda fundiária. A renda fundiária é tão somente uma porção dos lucros anteriormente obtidos da terra, isto é, nunca constitui a renda de uma nova criação; sempre constitui parcela de uma renda já criada. Quando a terra é abundante e fértil ela não produz renda. Contudo, quando a sua qualidade diminui e ela passa a produzir menos em troca do trabalho empregado surge uma renda nos terrenos mais férteis. Discutindo a relação existente entre a riqueza e a renda, Ricardo considera que o crescimento da renda é apenas um reflexo da riqueza, e nunca a sua causa.

Segundo o mesmo autor, enquanto o aumento da renda é causado pela perda da capacidade produtiva da terra, o aumento da riqueza pode ser causado por três fatores distintos: o crescimento da disponibilidade das terras férteis, a retirada das restrições sobre as importações e a introdução do progresso técnico na agricultura (LENZ, 1981).

"(...) é só porque a terra não existe em quantidade ilimitada e a sua qualidade não é uniforme e porque, com o aumento da população, se cultiva a terra de qualidade inferior ou pior situada que se paga pela sua utilização. Quando as terras de segunda qualidade passam a ser cultivadas devido ao crescimento populacional, a renda surge imediatamente nas de primeira qualidade e o montante dessa renda dependerá da diferença de qualidade destes dois tipos de terra". (extraído de LENZ, 1981)

De acordo com Ricardo, recursos naturais como a terra possuem a capacidade de gerar renda devido a três fatores: escassez do recurso; diferenciação da qualidade do recurso, ou empobrecimento do mesmo; e possibilidade de ser apropriado (possuir valor de troca), tornando-se um bem sujeito a trocas econômicas. Ao analisar a curva de oferta da terra, representado na Figura 5, é possível observar que, quando a disponibilidade de terras agrícolas com potencial de produção é maior que as terras utilizadas pelo setor agrícola, a tendência é um aumento de demanda por terras e uma maior conversão, havendo um modesto aumento da taxa de aluguel da terra. O aumento da taxa de aluguel é pequeno, devido à alta produtividade da terra inicialmente convertida, fazendo com que os custos de produção sejam pequenos. O lado esquerdo da curva de oferta de terra representa tal situação.

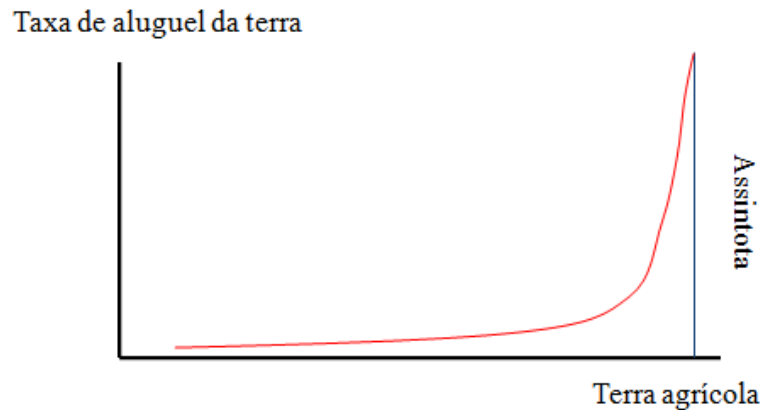


Figura 5: Curva de oferta da terra
 Fonte: Van Meijl *et al.* (2006)

Um forte aumento da taxa de aluguel irá ocorrer quando a demanda por terras for maior que as terras agrícolas em uso. Nesse caso, a conversão ocorrerá de forma mais difícil e por meio das terras marginalmente menos produtivas. Os custos de conversão entre as terras aumentam à medida que as terras marginais de baixa qualidade vão sendo utilizadas, o que implica em elasticidades de substituição, variando de acordo com a produtividade. Essa situação é representada pelo lado direito da curva de oferta.

2.3 Modelos EGC com representação do fator terra

Os modelos EGC que utilizam a terra como fator de produção geralmente se diferem na forma de modelar a oferta de terras, na estrutura das elasticidades de conversão de terras e na quantidade de terra considerada com potencial de conversão (SCHMITZ *et al.*, 2014). O modelo FARM, desenvolvido por Darwin *et al.* (1995), foi o primeiro modelo com representação da competição entre os diferentes usos da terra amplamente utilizado. Os autores usaram uma estratégia de modelagem que integra aspectos econômicos e biofísicos, permitindo variações entre as classes de terras dentro de cada atividade econômica (cultura, pecuária e silvicultura). Dessa forma, o solo é considerado heterogêneo. Nesse tipo de representação, portanto, a conversão da terra ocorre dentro de cada atividade, e não entre os diferentes usos do solo, como entre floresta e pastagem, por exemplo.

A mesma representação ocorre na versão básica do GTAP (HERTEL, 1997). Nesse modelo, a terra é introduzida por meio de uma função de transformação (CET), com elasticidade de transformação constante, na qual a área total é considerada o insumo, e a distribuição entre os diferentes setores ocorre em resposta às taxas de aluguel relativas. A terra se ajusta lentamente de acordo com as rendas relativas obtidas nas respectivas atividades. A

alocação de terra no modelo GTAP é representada na Figura 6, onde a área total destinada as culturas agrícolas, L , pode ser utilizada no cultivo de n culturas, representadas por L_i , L_j e L_n . A conversão das áreas de culturas em seus muitos usos (soja, milho, algodão e etc.) ocorre de acordo com a elasticidade de substituição σ_1 .

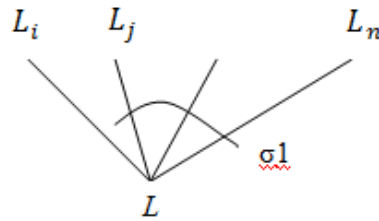


Figura 6: Alocação da terra no modelo GTAP padrão
Fonte: Timilsina et al (2010)

O GTAP (HERTEL, 1997) foi primordial para a evolução dos modelos com análise de uso do solo, dando início a diversas extensões como o GTAP-L (BURNIAUX *et al.*, 2002), GTAP-AEZ (HERTEL *et al.*, 2010), dentre outros. Nesses novos modelos, a possibilidade de conversão de áreas naturais para áreas produtivas é considerada. As áreas naturais não incluem todas as vegetações naturais e apenas uma fração delas é considerada acessível. A abordagem de Van Meijl *et al.* (2006) consegue incorporar o processo de conversão entre as áreas naturais e as produtivas, por meio de uma curva de oferta de terras cultiváveis que gera expansão da área produtiva a partir de mudanças em preços relativos dessas áreas cultivadas, incorporando a ideia da renda da terra ricardiana no modelo. Ou seja, à medida que a renda da terra aumenta, mais terras marginais vão sendo cultivadas. O modelo ainda representa a competição entre os diferentes usos (culturas, pastagens, florestas plantadas e manejadas) por meio de uma função CET, como no modelo GTAP-AEZ (HERTEL *et al.*, 2010). O custo de conversão é implicitamente retratado, e não se permite a representação das diferenças espaciais na decisão de oferta da terra.

Já a abordagem utilizada pelo modelo *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA) (GURGEL *et al.*, 2008) emprega funções de transformação de uso da terra entre todas as categorias (naturais, culturas, pastagens e florestas plantadas e manejadas) e considera, explicitamente, custos crescentes de conversão entre as categorias. Ou seja, o modelo consegue representar a conversão entre áreas naturais e produtivas. As restrições institucionais, como políticas de conservação ambiental, são refletidas de forma implícita pelas elasticidades (GURGEL *et al.*, 2016).

Para o Brasil, alguns modelos EGC, com incorporação do uso da terra, vêm sendo utilizados. O modelo regional empregado em Cattaneo (2001) é um exemplo. Neste estudo, o autor procura avaliar o desmatamento por meio de um modelo EGC estático regional, para a Amazônia, sem considerar outras regiões no Brasil e no mundo. A terra é utilizada como fator primário na produção de bens agrícolas, com diferentes possibilidades de uso do solo, e um sistema de transformação e conversão da terra baseado num processo de Markov estacionário, no qual o uso da terra é utilizado como uma variável exógena. A conversão é permitida entre florestas e terras cultivadas e entre terras cultivadas e pastagens, o caminho inverso não é permitido. O preço da terra cultivada é determinado pelo retorno das terras agrícolas e os retornos das florestas não são considerados, ou seja, a extração madeireira não gera retornos. O desmatamento ocorre somente para fins agrícolas.

Os modelos inter-regionais empregados por Domingues *et al.* (2008) e Moraes (2010), baseados na estrutura do TERM (HORRIDGE *et al.*, 2006), também são exemplos de modelagem de uso da terra empregadas no Brasil. Domingues *et al.* (2008) analisam o impacto de mudanças climáticas no Nordeste, a partir das estimativas da Embrapa (2008), sobre a disponibilidade de terras aptas e inaptas para a atividade agrícola. Essa disponibilidade de terras representa os choques sobre a disponibilidade do fator de produção na agropecuária. Esses choques afetam a rentabilidade do setor agrícola, provocando variações no nível de atividade e no uso dos fatores primários que possuem mobilidade entre as regiões. Ou seja, a variável que sofre o choque é a disponibilidade de terras para a agricultura, havendo diferenciação dos efeitos sobre as culturas somente sobre o setor agropecuário agregado. Mesmo considerando as terras aptas e inaptas para o cultivo, os diferentes usos da terra permanecem exógenos ao modelo, ou seja, o modelo não apresenta explicitamente do uso da terra. Moraes (2010), por meio do modelo TERM-BR, procura mensurar os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola brasileira. Da mesma forma que em Domingues *et al.* (2008), a terra foi considerada um fator de produção agrícola de acordo com a disponibilidade de terras aptas e inaptas da Embrapa (2008) e seus diferentes usos permaneceram exógenos ao modelo.

Já a modelagem adotada em Ferreira Filho e Horridge (2010) torna endógena a mudança do uso da terra, por meio de uma matriz de transição. Essa matriz de transição calibra os parâmetros que determinam a conversão no futuro. Ou seja, exibe como o uso da terra variou entre diferentes usos (lavouras, pastagens, florestas e as florestas naturais) no decorrer dos anos, de acordo com as probabilidades de Markov. A incorporação da matriz no processo de modelagem permite que as terras não-cultivadas sejam convertidas em alguma

categoria e permite, ainda, a conversão entre as categorias de terras. A construção da matriz ocorre por meio dos dados de área dos estabelecimentos dos Censos Agropecuários de 1995 e 2006. A terra "não utilizada" é definida como a área total de cada estado, subtraídas as áreas usadas em culturas, pastagens e florestas plantadas.

Especificação detalhada do uso da terra para o Brasil também é encontrada em Faria (2012). O autor desenvolve o modelo BLUE, derivado de diversos outros modelos EGC, e introduz detalhamentos do lado da oferta e demanda de terras. Do lado da demanda, foi permitida a substituição entre os produtos que fazem diferentes usos da terra, como a pecuária, floresta e lavoura. Além disso, foi inserida a remuneração da terra por tipos de atividades da agropecuária em cada região. Do lado da oferta, os usos pelas atividades agrícolas foram definidos em unidades físicas. A diferença entre o total de terra disponível e a quantidade de terra correntemente empregada na produção corresponde a áreas de florestas. Dessa forma, políticas que afetam a demanda por terra provocam mudanças no uso da terra pelo lado da oferta. Portanto, o processo de conversão é modelado explicitamente.

Por fim, Carvalho (2014) incorpora explicitamente o uso da terra em um modelo EGC. A autora procura analisar as perdas econômicas decorrentes de uma política de controle de desmatamento na Amazônia Legal por meio do modelo REGIA, do tipo inter-regional dinâmico para as mesorregiões da Amazônia. A incorporação de um módulo ILUC (*indirect land use change*) permite a conversão do fator terra em diferentes usos. Tal processo de conversão segue as especificações da matriz de transição de Ferreira Filho e Horridge (2014), calibrada com dados para a região da Amazônia, sem considerar os detalhes do uso da terra das demais regiões. Na matriz, a conversão de áreas de floresta natural para os demais usos depende do Índice de Preço ao Consumidor relativamente às outras remunerações de uso da terra.

Portanto, observam-se diferentes formas e abordagens de representação do uso da terra em modelos aplicados. Nenhuma delas está livre de limitações quanto às especificações e formas de modelar o uso da terra. Como observado por Faria (2012), uma limitação dos modelos utilizados para o Brasil é a falta de tratamento detalhado do uso da terra, em termos de definição de diferentes tipos de uso na especificação da demanda e oferta de terra e, conseqüentemente, do relacionamento entre essas. Já Gurgel *et al.* (2016) salientam a dificuldade em representar a conversão de terras naturais ou não utilizadas em terras agrícolas, uma vez que essas não produzem bens ou serviços valorados pelos mercados. Existe, ademais, a dificuldade de se mensurar a quantidade de hectares que, de fato, estão disponíveis para conversão (SCHMITZ *et al.*, 2014). Além disso, uma das restrições mais

comumente encontrada é a dificuldade em diferenciar as elasticidades entre os diferentes tipos de uso e em representar o processo de conversão endogenamente. É desafiador captar as variações nas elasticidades quando a produtividade ou disponibilidade do solo se altera, por exemplo.

Observa-se nos modelos analisados acima que, geralmente, utiliza-se a função de transformação (CET) com elasticidades constantes para representar as possibilidades de conversão entre os diferentes usos agrícolas. A elasticidade de substituição da função CET reflete, implicitamente, as variações de cada tipo de terreno para diferentes usos agrícolas. Por exemplo: a elasticidade da CET reflete a conversão de terras destinadas ao cultivo de arroz para o cultivo de cana-de-açúcar. Esse tipo de representação mostra-se mais adequado em caracterizar a mobilidade imperfeita da terra entre diferentes culturas agrícolas, bem como é útil em análises de curto prazo, na quais mudanças radicais no uso da terra não ocorrem. No entanto, para análises de longo prazo, esse tipo de especificação se torna limitado, pois tende a restringir a conversão de certa categoria de uso da terra em outra categoria, como uma possível conversão de florestas em pastagens (GURGEL *et al.*, 2008).

Quando uma função CET é utilizada para representar a conversão entre diferentes usos da terra, as elasticidades simétricas fazem com que se assumam, implicitamente, que o “custo” de conversão é o mesmo, em qualquer direção. Isso, porém, não é muito condizente com a realidade, em que o custo de conversão tende a ser maior na abertura de terras para cultivo do que pastagem, por exemplo (GURGEL *et al.*, 2016). Além disso, os expoentes das funções de transformação (CET), que determinam o grau de substitubilidade, geralmente derivam de estimativas de elasticidades baseadas, ou assumidas, na literatura, e no período-base são utilizadas para a calibração. Identificar e calcular essas elasticidades de transformação é considerado desafio na modelagem de EGC, (SCHMITZ *et al.*, 2014).

Portanto, a função CET torna a representação do uso da terra pouco flexível em cenários de expansão pronunciada de um tipo de uso do solo específico como a área destinada aos biocombustíveis, que vem apresentando um expressivo aumento nos últimos anos (GURGEL *et al.*, 2008). Por tanto, abordagens alternativas e complementares à função CET estão sendo utilizadas. Uma delas é associar, ao modelo, explicitamente, um custo de conversão, considerando a heterogeneidade da terra. Os custos de conversão entre os diferentes usos tendem a aumentar de forma proporcional aos rendimentos da terra, fazendo com que as elasticidades variem de acordo com a produtividade e com a heterogeneidade da terra - e não de forma simétrica e constante, como ocorre no GTAP padrão. Esse processo de determinação dos custos de conversão exógena e sua posterior utilização para calibração estão sendo feitos

em modelos de equilíbrio parcial (HUBERT *et al.*, 2008; CHAKRAVORTY *et al.*, 2009; CHAKRAVORTY *et al.*, 2012, HAVLIK *et al.*, 2011, HAVLIK *et al.*, 2013) e equilíbrio geral (GURGEL *et al.*, 2008).

São, ainda, abordagens alternativas à utilização da função CET a incorporação da ideia de escassez ricardiana. Tal incorporação se daria através de uma função que possua a capacidade de expandir a oferta total da terra à medida que o preço relativo das terras cultivadas aumente, tentando reproduzir o comportamento de uma curva de oferta de terras cultiváveis associada aos diferentes tipos de qualidades de solos agricultáveis. Essa abordagem é encontrada em Van Meijl *et al.* (2006) e Faria (2012). Outra abordagem alternativa é a de Ferreira Filho e Horridge (2010) e Carvalho (2014), que torna endógena a mudança do uso da terra por meio de uma matriz de transição.

3 METODOLOGIA

3.1 Modelo Aplicado de Equilíbrio Geral – PAEG

O modelo econômico que será utilizado é o Projeto de Análise de Equilíbrio Geral (PAEG). Esse tipo de modelagem se mostra adequado para responder aos problemas da pesquisa em questão, uma vez permite obter a variação total no nível de atividade econômica em resposta a choques de produção. A representação das regiões brasileiras, separadamente, permite capturar as especificidades relacionadas à produção de cana-de-açúcar, dos demais produtos agropecuários e da área de vegetação natural disponível para conversão, possibilitando examinar os efeitos diretos e indiretos gerados por um aumento de demanda e conseqüentemente, oferta da cana-de-açúcar. Além de ser capaz de representar as economias das grandes regiões brasileiras e países parceiros, considerando as inter-relações dos diversos setores, mercados e agentes das economias.

O modelo de referência do PAEG é o modelo *Global Trade Analysis Project - GTAP* (HERTEL, 1997; GTAP, 2001). A programação do modelo PAEG segue a estrutura básica do modelo *GTAPinGAMS* (Rutherford e Paltsev, 2000; Rutherford, 2005), que utiliza a base de dados do modelo GTAP, mas é elaborado como um problema de complementaridade não-linear, em linguagem de programação GAMS (*General Algebraic Modeling System*, Brooke *et al.*, 1998). Portanto, o PAEG segue a "tradição" Americana de modelagem. Além de permitir que o modelo seja resolvido como um problema de complementariedade não-linear, a versão do GTAP em GAMS também permite a agregação da base de dados em diferentes

formatos e tamanhos e a modificação ou imposição de dados alternativos nas economias domésticas.

O modelo PAEG é estático, multirregional e multissetorial. As cinco macrorregiões brasileiras são representadas individualmente, diferentemente do GTAP que representa o Brasil como um todo, sem levar em consideração as especificidades regionais de um país de larga dimensão territorial. No PAEG, cada região é representada por uma estrutura de demanda final, composta por despesas públicas e privadas, com bens e serviços. O modelo baseia-se no comportamento otimizador dos agentes. Os consumidores buscam a maximização do seu bem estar, ficando sujeitos à restrição orçamentária, pois consideram fixos os níveis de investimento que se igualam à poupança e as transferências líquidas internacionais de renda. Os setores produtivos combinam insumos intermediários e fatores primários de produção (capital, trabalho qualificado, trabalho não qualificado, terra e recursos naturais), com o objetivo de minimizar os custos, dada a tecnologia disponível. A base de dados inclui os fluxos bilaterais de comércio entre países e regiões, bem como os custos de transporte, tarifas de importação e impostos (ou subsídios) às exportações (GURGEL *et al.* 2014).

A Figura 7 representa a estrutura geral do modelo PAEG. Os símbolos apresentados correspondem às variáveis do modelo econômico; Y_{ir} é a produção do bem i , na região r ; C_r , I_r e G_r , respectivamente, o consumo privado, o investimento e o consumo público; M_{ir} as importações do bem j pela região r ; HH_r o agente consumidor representativo (ou domicílio); e $GOVT_r$ o setor público ou governo; FT_{sr} uma atividade por meio da qual fatores de produção específicos são alocados para setores particulares. Os fluxos nos mercados de fatores e de bens são representados por linhas sólidas ou pontilhadas de forma irregular, enquanto os pagamentos de impostos são apresentados pela linha pontilhada regular.

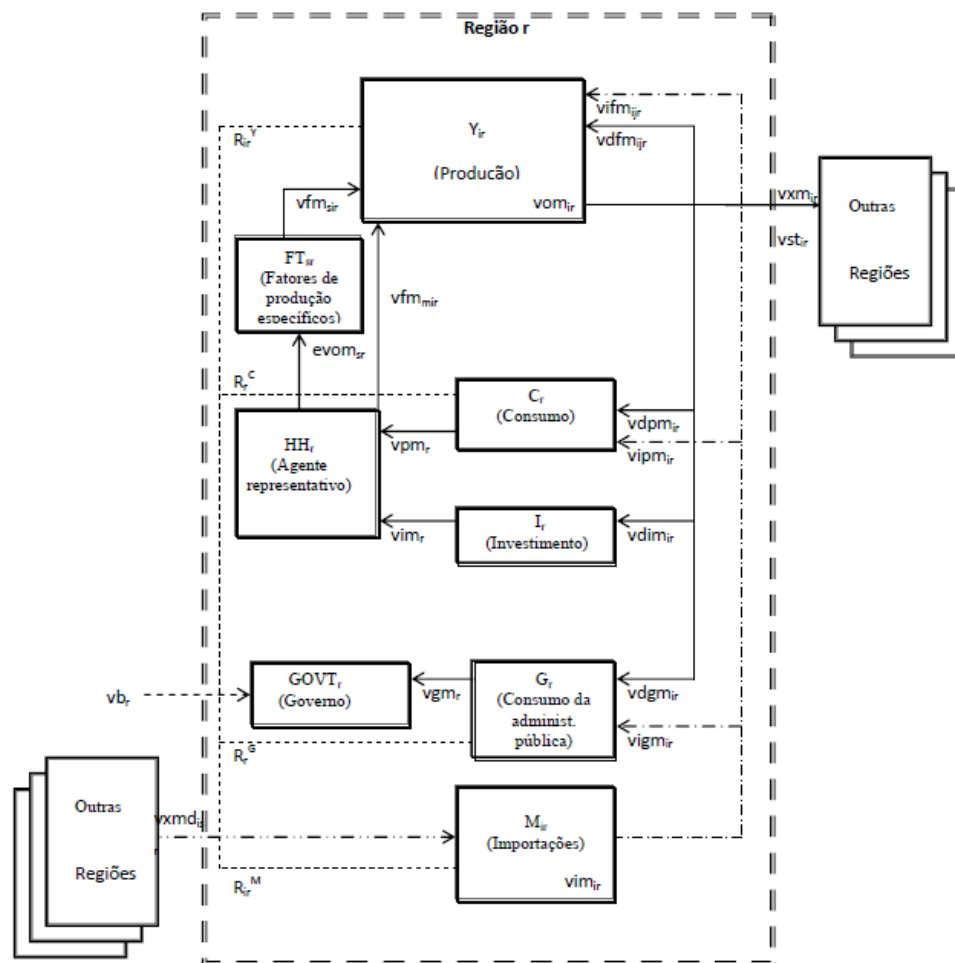


Figura 7: Estrutura geral do modelo PAEG
Fonte: Gurgel *et al.* (2013)

3.1.1 Identidades econômicas

Na Figura 7, a produção doméstica (vom_{ir}) é distribuída entre exportações ($vxmd_{irs}$), serviços de transporte internacional (vst_{ir}), demanda intermediária ($vdfm_{ijr}$), consumo privado ($vdpm_{ir}$), investimento ($vdim_{ir}$) e consumo do governo ($vdgm_{ir}$). A identidade contábil na base de dados, representada pelas matrizes de contabilidade social, referente à produção doméstica, é apresentada pela equação abaixo:

$$vom_{ir} = \sum_s vxmd_{irs} + vst_{ir} + \sum_j vdfm_{ijr} + vdpm_{ir} + vdgm_{ir} + vdim_{ir} \quad (5)$$

Bens importados, representados agregadamente por vim_{ir} , são utilizados no consumo intermediário (vfm_{ijr}), no consumo privado ($vipm_{ir}$) e no consumo do governo ($vigm_{ir}$). A identidade contábil desses fluxos é representada abaixo:

$$vim_{ir} = \sum_j vifm_{ijr} + vipm_{ir} + vigm_{ir} \quad (6)$$

Na produção de Y_{ir} incluem-se insumos intermediários (domésticos e importados) e fatores de produção móveis (vfm_{fir} , $f \in m$). A renda dos fatores de produção é distribuída ao agente representativo. O equilíbrio nos mercados de fatores é dado por uma identidade que relaciona o valor do pagamento dos fatores com a renda destes:

$$\sum_i vfm_{fir} = evom_{fr} \quad (7)$$

As condições de equilíbrio entre oferta e demanda dos mercados são dadas abaixo. Nos mercados internacionais, as exportações do bem i pela região r (vxm_{ir}) precisam ser iguais às importações do mesmo bem, por todos os parceiros comerciais ($vxml_{irs}$), conforme representado na relação:

$$vxm_{ir} = \sum_s vxml_{irs} \quad (8)$$

Da mesma forma, condições de equilíbrio aplicam-se também aos serviços de transporte internacionais. A oferta agregada ao serviço de transporte j , vt_j , deve ser igual ao valor dos serviços de transporte para exportações oferecido por cada região r :

$$vt_j = \sum_r vst_{jr} \quad (9)$$

Além disso, o equilíbrio entre oferta e demanda, no mercado de serviços de transporte, iguala a oferta desses serviços à soma dos fluxos bilaterais de serviços de transporte adquiridos nas importações de bens ($vtwr_{jisr}$), como na equação abaixo:

$$vt_j = \sum_r vtwr_{jisr} \quad (10)$$

As receitas dos impostos e transferências, indicadas pela linha pontilhada, são representadas pela letra R . Os fluxos de impostos consistem em impostos indiretos na produção e exportação (R_{ir}^Y), no consumo (R_r^C), na demanda do governo (R_r^G) e nas importações (R_{ir}^M). A renda do governo também inclui impostos diretos ao agente

representativo, representados por R_r^{HH} , bem como transferências do exterior, vb_r . A restrição orçamentária do governo segue a seguinte representação:

$$vgm_r = \sum_i R_{ir}^Y + R_r^C + R_r^G + \sum_i R_{ir}^M + R_r^{HH} + vb_r \quad (11)$$

A restrição orçamentária do agente representativo relaciona a renda dos fatores de produção, descontada dos pagamentos de impostos, às despesas de consumo e investimento privado, como na relação abaixo:

$$\sum_f evom_{fr} - R_r^{HH} = vpm_r + vim_r \quad (12)$$

O equilíbrio de mercado (oferta igual à demanda, para todos os bens e fatores de produção) e o balanço da renda (renda líquida igual à despesa líquida) são condições para a consistência da base de dados das matrizes de insumo-produto e contabilidade social, e podem ser visualizadas nas equações anteriores. Ademais, as identidades que garantem os lucros econômicos iguais a zero são mantidas no modelo. Tanto no PAEG quanto no GTAP, consideram-se competição perfeita e retornos constantes à escala, de forma que os custos com insumos intermediários e fatores de produção se igualam ao valor da produção, e os lucros econômicos, a zero. Tal condição se aplica a cada um dos setores produtivos e atividades, conforme as equações (13) a (19), a seguir.

$$Y_{ir}: \sum_f vfm_{fir} + \sum_j (vifm_{jir} + vdfm_{jir}) + R_{ir}^Y = vom_{ir} \quad (13)$$

$$M_{ir}: \sum_s (vxmd_{isr} + \sum_j vtwr_{jisr}) + R_{ir}^M = vim_{ir} \quad (14)$$

$$C_r: \sum_i (vdpm_{ir} + vipm_{ir}) + R_{ir}^C = vpm_r \quad (15)$$

$$G_r: \sum_i (vdgm_{ir} + vigm_{ir}) + R_{ir}^G = vgm_r \quad (16)$$

$$I_r: \sum_i vdim_{ir} = vim_r \quad (17)$$

$$FT_{fr}: evom_{fr} = \sum_i vfm_{fir} \quad f \in S \quad (18)$$

$$YT_j: \sum_i vst_{jr} = vt_j = \sum_i vtwr_{jirs} \quad (19)$$

A longo prazo, o preço de produção se iguala ao custo marginal, à medida em que novas firmas entram no mercado. A equação 14 equilibra importação total do bem i pela região r , com os gastos associados às importações bilaterais do bem i com origem nas demais, considerando, ainda, seus custos de transportes. A equação 15 representa os gastos das

famílias com bens importados, domésticos e impostos, que se igualam à renda líquida. Poupança é considerada exógena e igualada a investimentos.

3.1.2 Comportamento dos agentes econômicos

Para entender o funcionamento do modelo, é preciso descrever como os agentes e setores se comportam. A função de produção que representa a minimização do produtor é uma função de elasticidade de substituição constante (CES) em que fatores primários de produção (componentes do valor adicionado) podem ser substituídos. A elasticidade de substituição determina esse processo substitutivo. Já os insumos intermediários e o agregado dos fatores primários de produção são combinados a partir de uma função Leontief, não aceitando substitutibilidade entre eles. Cada insumo intermediário, nessa função Leontief, é uma combinação entre uma parcela doméstica e importada do mesmo bem, a partir de uma função CES com elasticidade de substituição constante. Portanto, os produtores adquirem cestas de insumos intermediários sobre as quais decidem entre bens domésticos e importados. Como não há desemprego no modelo, os preços dos fatores de produção são considerados flexíveis (GURGEL *et al.*, 2014).

O Quadro 1 apresenta as variáveis que descrevem os níveis de atividades que definem o equilíbrio, além das variáveis de preços relativos dos bens e fatores. O modelo determina valores para todas as variáveis de quantidades e preços, exceto para os fluxos de capitais internacionais e investimentos, que são considerados exógenos. As condições de equilíbrio do modelo definem preços relativos, e não preços nominais. Cada preço de equilíbrio está associado a uma condição de equilíbrio de mercado.

Quadro 1: Variáveis do modelo PAEG e suas descrições

Variáveis	Descrição
C_r	Demanda agregada dos agentes privados
G_r	Demanda agregada do setor público
Y_{ir}	Produção
M_{ir}	Importações agregadas
FT_{fr}	Transformação de fatores
YT_j	Serviços de transporte internacional
p_r^C	Índice de preço do consumo privado
p_r^G	Índice de preço da provisão do governo
p_{ir}^Y	Preço de oferta doméstica, bruto de impostos indiretos á produção
p_{ir}^M	Preço de importação, bruto de impostos ás exportações e tarifas ás importações
p_{fr}^f	Preço dos fatores para trabalho, terra e recursos naturais
p_{fir}^S	Preço do fator primário específico no setor
p_j^I	Custo marginal dos serviços de transporte

Fonte: Gurgel *et al.* (2013)

O problema de otimização abaixo representa a minimização de custos dos setores produtivos sujeitos às restrições tecnológicas. Cada setor do modelo é representado por uma função de minimização de custos, com graus de substitutibilidade diferentes. A produção de Y_{ir} é caracterizada pela escolha de insumos a partir da minimização de custos unitário, onde C_{id}^D é custo com insumos domesticos, C_{ir}^M é o custo de insumos importados e C_{ir}^F é custo com fatores primarios:

$$\begin{aligned}
 & \min_{d, dfm, ddfm} C_{id}^D + C_{ir}^M + C_{ir}^F \\
 \text{Sujeito a: } & C_{ir}^D = \sum_j p y_{jr} (1 + t_{jir}^{fd}) ddfm_{jir}; \\
 & C_{ir}^M = \sum_j p m_{jr} (1 + t_{jir}^{fi}) difm_{jir}; \\
 & C_{ir}^F = \sum_j (p f_{fr|f\epsilon m} + p s_{fir|f\epsilon s} (1 + t_{fir}^f)) dfm_{fir}; \\
 & F_{ir}(ddf m, dif m, df m) = Y_{ir}; \tag{20}
 \end{aligned}$$

Nessas equações, as variáveis de decisão (endógenas) são representadas pela inicial “d” no lugar da letra “v”, uma vez que estas últimas correspondem aos dados iniciais (ou de

“*benchmark*”). Dessa forma, $vdfm_{jir}$ representa a demanda intermediária de *benchmark* do bem j na produção do bem i na região r , enquanto $ddfm_{jir}$ representa a variável de demanda intermediária, que corresponde ao equilíbrio do problema de decisão da produção. Ou seja, $vdfm_{jir}$ é um parâmetro no modelo e $ddfm_{jir}$ é uma variável endógena que pode mudar.

A função de produção que caracteriza a otimização apresentada acima é uma função de elasticidade de substituição constante (CES), em que fatores primários de produção (componentes do valor adicionado) podem ser substituídos. A elasticidade de substituição representada pelo parâmetro $esubva(j)$, no modelo, determina esse processo de substituição. Dessa forma, primeiramente, as firmas decidem a combinação de fatores primários que será empregada (precificados por $py(sf, j, r)$ e $pf(mf, r)$). A decisão é tomada com base na elasticidade de substituição entre os fatores de produção que compõem o valor adicionado ($esubva(j)$).

A árvore tecnológica da estrutura produtiva do PAEG segue na Figura 8. Os insumos intermediários e os fatores primários de produção são combinados a partir de uma função Leontief, não aceitando substitutibilidade entre eles. Cada insumo intermediário, nessa função Leontief, é uma combinação entre uma parcela doméstica e uma importada do mesmo bem j , a partir de uma função CES, de elasticidade de substituição, representada pelo parâmetro $esubd(i)$. Portanto, os produtores adquirem cestas de insumos intermediários, sobre as quais decidem entre bens domésticos e importados, por meio da elasticidade de substituição ($esubd(i)$). O produto final, representado por $y(i, r)$, recebe o preço $py(i, r)$. Como não há desemprego no modelo, os preços dos fatores de produção são considerados flexíveis ($pf(mf, r)$), a não ser que os fatores possuam mobilidade limitada, como é o caso da terra, preço representado por $ps(sf, j, r)$.

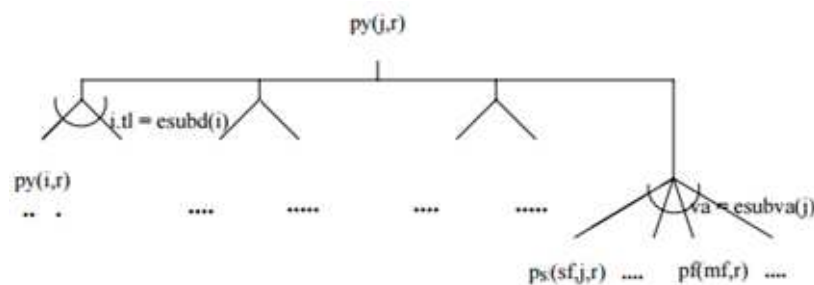


Figura 8: Árvore tecnológica da estrutura produtiva do PAEG
Fonte: Gurgel *et al.* (2013)

No modelo PAEG original, inicialmente, apenas o capital e o trabalho são considerados fatores primários de produção. Estes são combinados por meio de uma função CES. Os fatores intermediários e os primários de produção são combinados a partir de uma função Leontief, não aceitando substituição entre eles. Cada insumo intermediário, nessa função Leontief, é uma combinação entre uma parcela doméstica e uma importada do mesmo bem, a partir de uma função CES.

A escolha entre importações de diferentes parceiros comerciais é baseada na pressuposição de Armington, ou seja, considera-se que um bem importado de uma região é um substituto imperfeito do mesmo bem, com origem em outras regiões. Dessa forma, as importações bilaterais são realizadas no modelo, seguindo o problema de otimização representado na equação abaixo:

$$\min_{dxmd, dtwr} \sum_s (1 + t_{isr}^{ms}) (py_{is}(1 - t_{isr}^{xs}) dxmd_{isr} + \sum_j pt_j dtwr_{jisr})$$

$$\text{Sujeito a: } A_{ir}(dxmd, dtwr) = M_{ir} \quad (21)$$

em que A_{ir} representa a função de agregação das importações, na qual os serviços de transporte são adicionados, de forma proporcional, ao valor das importações de diferentes regiões. Dessa forma, as diferenças entre os países são refletidas nas margens de transporte por unidade transportada. A substituição entre importações de diferentes origens é governada por uma elasticidade de substituição, denominada de $esubm(i)$. Os fluxos comerciais estão sujeitos a subsídios (ou impostos) às exportações e tarifas às importações. Nesse sentido, o governo da região exportadora paga os subsídios (ou recebe os impostos), enquanto as tarifas são coletadas pelos governos dos países importadores.

O consumo do agente privado pode ser representado por um problema de minimização do custo no nível de consumo agregado, como representado abaixo:

$$\min_{ddpm, dipm} \sum_s py_{is}(1 - t_{ir}^{pd}) ddpm_{ir} + pm_{ir}(1 + t_{ir}^{pi}) dipm_{ir}$$

$$\text{Sujeito a: } H_r(ddpm, dipm) = C_{ir} \quad (22)$$

A demanda final no modelo é caracterizada por uma função Cobb-Douglas, com agregação de bens domésticos e importados. Quanto à demanda, investimentos e fluxos de capitais são mantidos fixos, bem como o saldo do balanço de pagamentos. Dessa forma,

mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações após os choques.

No modelo GTAPinGAMS original, terra e recursos naturais são considerados fatores específicos de produção, ofertados por meio de uma função de elasticidade de transformação constante (CET), que aloca os fatores de acordo com os mercados setoriais (o modelo PAEG original não representa explicitamente esses fatores desagregados do fator capital). O fator terra é específico aos setores agropecuários, enquanto recursos naturais são específicos de alguns setores (de extração de recursos minerais e energia). A oferta de fatores específicos de produção pode ser especificada a partir do problema de otimização que segue abaixo:

$$\begin{aligned} \max_{dfm} \quad & \sum_j dfm_{sjr} p_{Ssjr} \\ \text{Sujeito a:} \quad & \Gamma_{sr}(dfm) = evom_{sr} \end{aligned} \quad (23)$$

em que Γ_{sr} representa a função CET. A elasticidade de transformação é representada, no modelo, pelo parâmetro *etraef*. Serviços internacionais de transporte são considerados uma agregação dos serviços de transporte exportados pelos diversos países e regiões. A agregação de serviços de transporte é representada, no modelo, por um problema de minimização, com uma elasticidade de substituição unitária (função Cobb-Douglas) para substituição entre transporte de diferentes origens:

$$\begin{aligned} \min_{dst} \quad & \sum_r py_{ir} dst_{ir} \\ \text{Sujeito a:} \quad & T_i(dst) = YT_i \end{aligned} \quad (24)$$

O consumo da administração pública é representado, no modelo, por meio de uma função Leontief, agregando bens compostos de parcelas domésticas e importadas. Os diferentes bens compostos não são substituíveis entre si, contudo, componentes domésticos e importados de cada bem respondem a preços e são substituíveis, de acordo com a elasticidade de substituição *esubd(i)*. O consumo do governo poderá alterar por mudanças nos preços dos bens, assim como pela receita advinda dos impostos, que estará sujeita a mudanças no nível de atividade e no de consumo. O problema de minimização é apresentado abaixo:

$$\min_{ddgm, digm} \sum_s py_{is} (1 - t_{ir}^{pd}) ddgm_{ir} + pm_{ir} (1 + t_{ir}^{pi}) digm_{ir}$$

Sujeito a: $H_r(ddgm, digm) = C_{ir}$ (25)

As relações matemáticas apresentadas anteriormente descrevem os diversos processos de otimização que ocorrem no modelo de equilíbrio geral utilizado no presente trabalho. Além dessas relações, o modelo considera as condições de equilíbrio entre oferta e demanda, nos mercados; lucro zero; e equilíbrio entre renda e despesas, dos agentes, para completar o processo de equilíbrio computacional.

Como descrito acima, o modelo PAEG adota, como fatores primários de produção, somente o capital e o trabalho, pois o fator terra está agregado ao fator capital. Portanto, o modelo original não consegue captar a competição entre usos produtivos da terra, tampouco entre terras naturais e terras produtivas. Dessa forma, foi feita a desagregação da renda da terra agrícola e natural da renda do capital no modelo, e foram implementadas especificações que permitam associar, explicitamente, um custo de conversão entre as áreas produtivas e não produtivas. Essa foi uma importante contribuição a literatura que busca modelar o uso da terra e segue detalhado na seção 3.2.

3.1.3 Regras de Fechamento do PAEG

O fechamento do modelo PAEG é neoclássico: assume-se pleno emprego. Portanto, os preços dos fatores são flexíveis. O investimento é proveniente da poupança de forma exógena. Quanto à demanda, investimentos e fluxos de capitais são mantidos fixos, bem como o saldo do balanço de pagamentos, mas os preços associados a esses fluxos podem ser alterados após os choques. Quanto à oferta, considera-se fixa a oferta total de cada fator de produção, mas se garante mobilidade entre os setores dentro de uma região. A mobilidade dos fatores entre regiões brasileiras no PAEG pode ser total, parcial ou inexistente. Na pesquisa em questão, será considerada ausência de mobilidade dos fatores entre as regiões, uma vez que acrescentar uso da terra no modelo já traz inovações interessantes, cujas consequências precisam ser bem analisadas, a priori. O fator terra é específico aos setores agropecuários, enquanto recursos naturais são específicos a alguns setores (de extração de recursos minerais e energia). É permitida a conversão direta e indireta do fator terra por meio de uma função de custo de conversão que será utilizada na calibração do modelo.

3.1.4 A Base de Dados do PAEG

O modelo PAEG 4.0 utiliza a base de dados 9.0 do GTAP, representando o ambiente econômico de 2011, composto de dados de 140 regiões do mundo e 57 bens/setores produtivos. Setores e regiões são agregados de acordo com os objetivos da pesquisa, de modo a concentrar a representação econômica naquelas regiões e setores de interesse, e evitar problemas computacionais relacionados à dimensão do modelo. No presente estudo, a priori, será mantida a agregação original do PAEG. O Quadro 6, no Apêndice A, mostra a agregação entre regiões e setores do modelo. Para representar as cinco macrorregiões do Brasil, os dados do GTAP para a região brasileira foram substituídos pelos dados das matrizes de insumo-produto das cinco macrorregiões.

3.2 A incorporação do uso da terra no modelo PAEG

Para responder ao problema de pesquisa dessa dissertação e atingir os objetivos traçados, é necessário representar explicitamente a possibilidade de competição pelo uso da terra agrícola por diferentes culturas, bem como a capacidade da expansão da fronteira agrícola. O primeiro passo no processo de endogenização da terra é desagregar a renda da terra agrícola e natural da renda do capital na Matriz de Insumo Produto, utilizada no PAEG, uma vez que no modelo original, o fator terra está agregado ao fator capital. O procedimento adotado para a desagregação segue detalhado em 3.2.1 e 3.2.2. O segundo passo é representar a oferta e demanda de terra e, explicitamente, o custo de transformação de áreas naturais em áreas agropecuárias, no arcabouço de equilíbrio geral, cujo procedimento segue detalhado em 3.2.3.

3.2.1 Remuneração da terra agrícola no PAEG

Para a desagregação da renda da terra agrícola se faz necessário determinar a remuneração da terra agrícola para todas as regiões brasileiras. Posteriormente, faz-se necessário encontrar qual a proporção dessa renda da terra é proveniente do Valor da Produção agropecuário. Uma forma de calcular a renda da terra é por meio da determinação do valor do aluguel da mesma. O aluguel da terra pode ser considerado o pagamento recebido pelo proprietário de terra em um processo de arrendamento. Este ocorre quando o proprietário de determinada área a cede para que outro a cultive e pague pelo seu uso. O valor recebido

pelo arrendamento da terra consiste no aluguel. Uma forma simplista de calcular a renda da terra é extrapolar o aluguel proveniente do arrendamento para as demais áreas não arrendadas, de forma proporcional. Essas demais áreas podem ser as áreas produtivas ou não. Nesse sentido, o primeiro passo para o cálculo da renda da terra foi o cálculo do aluguel da terra. Segue abaixo a relação matemática, onde o subscrito i refere-se às macroregiões brasileiras:

$$AL_i = \frac{D_i / ND_i}{TA_i / NTA_i} \quad (26)$$

nas quais D_i é a despesa com arrendamento de terras (R\$); ND_i o número total de estabelecimentos que declararam possuir despesa com arrendamento de terras; TA_i são as áreas de terras arrendadas (ha); NTA_i é o número total de estabelecimentos que possuem terras arrendadas; AL_i é o aluguel da terra. Este leva em consideração as médias das despesas com arrendamento e as médias das áreas de terras arrendadas (R\$/ha).

Os dados sobre as terras sob arrendamento foram retirados do Censo Agropecuário de 2006, em “Despesas realizadas pelos estabelecimentos – Arrendamento de terras” e “Condição legal das terras”. Esses dados são informados pelos próprios proprietários e consideram as informações apenas daquelas terras arrendadas, sem considerar as demais terras não arrendadas. Além disso, não são considerados todos os estabelecimentos. Nesse sentido, com o intuito de extrapolar o valor econômico de retorno do fator terra para essas demais terras não contabilizadas, foram calculadas as médias dos valores de despesa com arrendamento e de áreas de terras e multiplicados por todas as áreas de terras produtivas do estabelecimento.

Por tanto, obtidos o valor do aluguel para cada hectare, o próximo passo resultará na renda da terra agrícola e consistirá em atribuir os valores dos aluguéis calculados acima para todas as áreas de terras produtivas utilizadas pelos estabelecimentos. Entende-se como área produtiva todas as áreas que geram algum retorno econômico. A remuneração econômica do fator terra é obtida por:

$$RTag_i = AL_i \times TP_i \quad (27)$$

Onde $RTag_i$ é a renda da terra agrícola; AL_i o aluguel da terra e TP_i é a área total de terras produtivas, que é o somatório das seguintes áreas: lavouras, pastagens, sistemas agroflorestais e florestas plantadas com essências florestais. São consideradas lavouras as seguintes áreas:

permanentes, temporárias, área plantada com forrageiras para corte, área para cultivo de flores (inclusive hidropônica e plasticultura), viveiros de mudas, estufas de plantas e casas de vegetação. São consideradas as seguintes áreas de pastagens: naturais, pastagens plantadas degradadas, pastagens plantadas em boas condições. Por fim, os sistemas agroflorestais: florestas plantadas com essências florestais, área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastejo de animais

O procedimento seguinte consiste em contabilizar a participação do fator terra sobre o valor da produção dos estabelecimentos agrícolas com o objetivo de obter o share da renda sobre o VP. O valor agregado da agroindústria é subtraído do VP. Algebricamente, a formulação consiste em:

$$S_i = \frac{RTag_i}{VP_i} \quad (28)$$

Onde S_i é a parcela da renda da terra sobre o valor da produção; VP_i o valor da produção dos estabelecimentos no ano de 2006, por tipo de produção, excluindo-se o valor agregado da agroindústria; e $RTag_i$ é a renda da terra agrícola. A parcela da renda da terra sobre o valor de produção, para cada macroregião do Brasil, S_i , será utilizada como share no modelo uma vez que uma parcela da renda da terra é proveniente da produção. Exatamente o quanto da renda da terra é proveniente do VP é dado por S_i .

3.2.2 Remuneração da terra natural no PAEG

Um passo importante para representar a categoria de terras naturais e seu processo de conversão em outros usos é determinar o valor de reserva ou um valor de não uso para as mesmas (GURGEL *et al.*, 2016). O cálculo da remuneração da terra natural se baseou na série dos preços de terras coletados pela FGV/IBRE e nos hectares de terras naturais disponíveis para conversão. Os Preços de Venda e Arrendamento de Terras, indicador da FGV/IBRE, é uma apuração semestral de preços de terras negociadas, de acordo com o tipo de transação ou forma de uso da terra. São coletados dados de vendas de terras destinadas às lavouras, matas, campos, pastagens. A evolução desses preços para o Brasil segue no Gráfico 1. Segundo, Reydon e Cornelio (2006), o preço da terra é determinado pelas expectativas de rendas produtivas e especulativas que resultam da propriedade da terra.

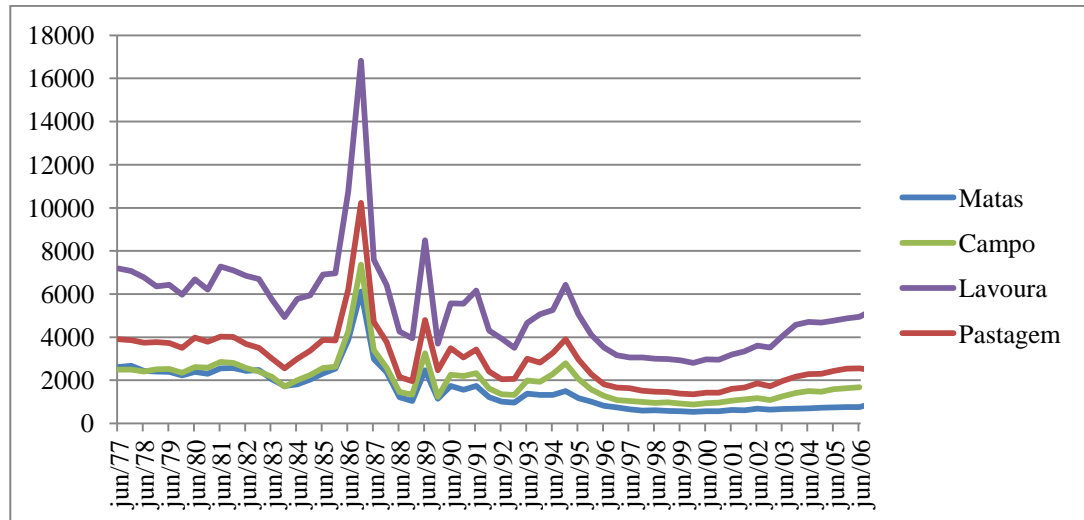


Gráfico 1: Evolução do Preço de Venda de terra Lavouras, Pastagem, Mata e Campo – Brasil

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados de Preços de Venda e Arrendamento de Terra - FGV/IBRE. Valores deflacionados pelo índice IGP-DI, ano base de 2006.

A partir dos dados da FGV/IBRE, deflacionados pelo índice IGP-DI, considerando como base o ano de 2006, foi calculada a proporção entre os preços de vendas de matas e campos e entre os preços de venda das lavouras e pastagens, a fim de estabelecer uma relação entre os preços de terras agrícolas e naturais. Como se trata de uma série histórica, com informações de 1977 até 2006, a média aritmética das proporções foi calculada para cada Estado e região. A utilização de muitos períodos da série representa o comportamento de longo prazo da relação de preços de terras agrícola e naturais. Posteriormente, essas médias de preço foram extrapoladas para as regiões de terras naturais passíveis de conversão. Dessa forma, obtém-se a renda da terra natural. Algebricamente, para as terras de campo, temos as seguintes proporções:

$$Pcl_{it} = \frac{Ptc_{it}}{Ptl_{it}} \quad (29)$$

$$Pcp_{it} = \frac{Ptc_{it}}{Ptp_{it}} \quad (30)$$

Onde Pcl_{it} é a proporção entre os preços de Campo e Lavoura na região i no semestre t ; Pcp_{it} a p a proporção entre os preços de Campo e Pastagem na região i no semestre t ; Ptc_{it} o preço de venda da terra de Campo na região i no semestre t ; Ptl_{it} o preço de venda da terra de Lavoura na região i no semestre t ; Ptp_{it} o preço de venda da terra de Pastagem na região i no semestre.

Para as terras de mata, temos as seguintes proporções:

$$Pml_{it} = \frac{Ptm_{it}}{Ptl_{it}} \quad (31)$$

$$Pmp_{it} = \frac{Ptm_{it}}{Ptp_{it}} \quad (32)$$

Onde Pml_{it} é a proporção entre os preços de Mata e Lavoura na região i no semestre t ; Pmp_{it} a proporção entre os preços de Mata e Pastagem na região i no semestre t e Ptm_{it} é o preço de venda da terra de Matas na região i no semestre t . Essas proporções indicam quanto as terras de Campo e Matas valem em relação às terras de Lavoura e Pastagem, ou seja, compara os preços das terras agrícolas com as terras naturais, para cada Estado e região brasileira.

Uma vez que, no Brasil, campos e matas são as terras naturais predominantes, as análises por Estado e região, desses dois tipos de cobertura do solo, tornam-se fundamental. Dessa forma, é possível captar e controlar as características de cada região. No Estado de Mato Grosso, por exemplo, a cobertura predominante é o cerrado. Como a formação campestre é a que se aproxima mais das vegetações do cerrado, as proporções Pcl_{it} e Pcp_{it} são as mais indicadas para o cálculo da renda da terra natural desse Estado. As médias aritméticas dessas proporções foram calculadas para cada estado e região. A multiplicação dessas médias com as áreas naturais passíveis de conversão proporcionam a renda da terra natural:

$$RTnat_i = P_{it} \times RTag_{i_i} \quad (33)$$

Onde $RTnat_i$ é a Renda da Terra Natural (R\$/ha); P_{it} a proporção encontrada acima e $RTag_i$ é a Renda da Terra Agrícola (R\$/ha). Os valores encontrados para P_{it} , renda da terra agrícola e renda da terra natural seguem na Tabela 1:

Tabela 1: Valores das rendas da terra agrícola e natural

Brasil e macroregiões	P_{it}	$RTag_i$ (R\$/ha)	$RTnat_i$ (R\$/ha)
Norte	0,362	50,62	18,34
Nordeste	0,544	107,28	58,39
Sudeste	0,630	300,64	189,50
Centro-Oeste	0,546	121,40	66,34
Sul	0,638	215,97	137,71
Brasil	0,411	214,15	87,94

Fonte: Resultados da pesquisa

Os resultados encontrados para P_{it} indicam que no Brasil, cerca de 41% da renda da terra agrícola é proveniente da renda da terra natural. Quanto mais terra disponível para conversão houver na região, menor é a proporção P_{it} e menor é o rendimento da terra. A região Norte, por exemplo, abundante em terras aptas a conversão, possui 36% da renda da terra agrícola advinda da renda da terra natural. A renda da terra natural é de somente R\$18,34 por hectare, bem abaixo da renda da terra natural de regiões com pouca terra disponível, como o Sudeste, cuja renda da terra natural é R\$189,50 por hectare.

3.2.3 A oferta de terra e o custo de conversão

A representação da demanda e oferta das terras produtivas e de vegetação natural foram incorporadas ao modelo PAEG, seguindo, em linhas gerais, o procedimento adotado por Gurgel *et al.* (2008), com algumas adaptações. E o processo de conversão é representado pelos custos crescente de conversão das terras, de acordo com a formulação de Gouel e Hertel (2006). As terras produtivas precisam ter funções de oferta e demanda bem definidas, vista a necessidade de fechar as transações em modelos de equilíbrio geral. Os setores produtivos agropecuários demandam o fator terra, combinando-o com capital, trabalho e insumos intermediários. Nas funções de produção de cada bem agrícola do modelo PAEG, tem-se a demanda por terra.

Do lado da oferta, será utilizada uma função CES, representando a substituição entre terra natural e terra agrícola (lavouras, pastagens, silvicultura e florestas), com posterior desagregação das diferentes lavouras em outra função CET (a mesma representação é utilizada nos modelos GTAP, GTAPinGAMS, GTAP-AEZ, TERM, BLUE, REGIA, dentre outros citados nesse trabalho). Segue abaixo, na Figura 9, a representação do lado da oferta das terras agropecuárias adotada no modelo PAEG.. As terras podem ser utilizadas no cultivo de culturas e pastagens, representadas por L_i , L_j e L_n .

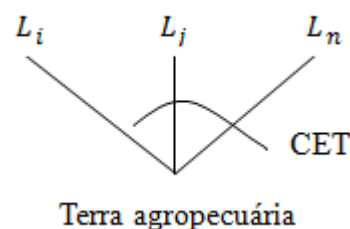


Figura 9: Estrutura da terra incorporada ao modelo PAEG
Fonte: Elaboração própria

O montante de terra agropecuária, em unidades físicas, alocado para cada setor da agropecuária, foi definido pela distribuição inicial do valor da terra utilizada por cada setor no GTAP (modelo referencia do PAEG), uma vez que consideramos que o preço relativo inicial da terra agropecuária é o mesmo em todos os setores. Então, a área física específica de cada tipo de produto agropecuário, resultante do modelo, pode ser interpretada como "área equivalente", considerando diferenciais de produtividade. Dessa forma, o modelo produz variações relativas, físicas, considerando o potencial produtivo por área de cada cultura após o choque.

A Figura 10 representa a estrutura da função de transformação da terra, incorporada ao modelo PAEG. Uma função CES pode transformar um hectare de terra, de um tipo qualquer, em um hectare de outro tipo, ou, ainda, transformar área natural em área agrícola, usando insumos de produção. Os insumos são: área natural ("fator fixo"), capital, trabalho e insumos intermediários, e o produto é a área agrícola. A área natural é um insumo usado em proporção constante aos demais. A substituição entre esses insumos é especificada por uma função Cobb-Douglas. O processo de conversão é representado pela função de custo de conversão da terra que será detalhada adiante. Esse custo de conversão nada mais é que a soma dos gastos com os insumos utilizados na conversão. A elasticidade entre o "fator fixo" e os demais insumos visa captar a curvatura da curva de custo de conversão. Procedimento semelhante é encontrado em Gurgel *et al.* (2008), Gurgel *et al.* (2011), Gurgel *et al.* (2016).

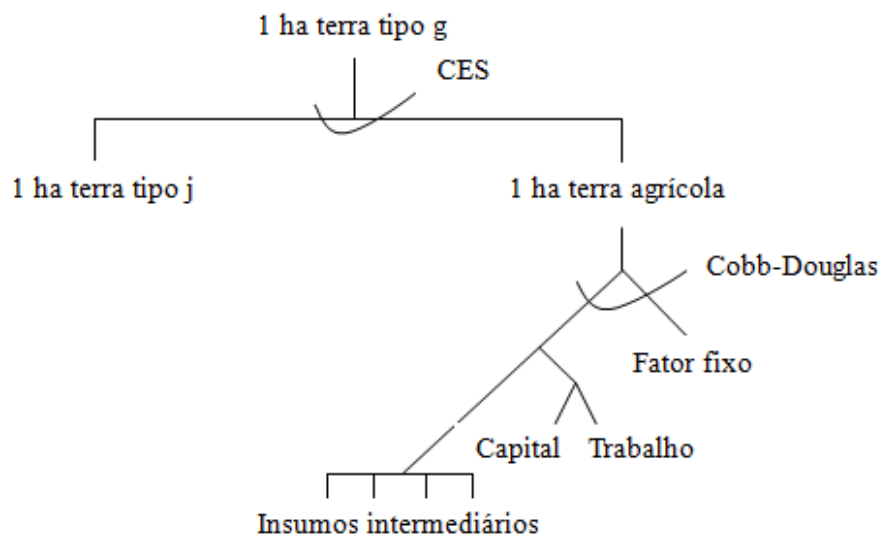


Figura 10: Estrutura da função de transformação da terra
 Fonte: Elaboração própria baseada em Gurgel *et al.* (2016)

O cálculo do custo de conversão das cinco macrorregiões brasileiras foi baseado em Gouel e Hertel (2006). O primeiro passo foi o levantamento dos hectares de terras em seus diferentes usos, incluindo as terras com potencial de conversão e o levantamento dos hectares de terras desmatadas. O segundo passo foi o levantamento dos preços médios de terras naturais. A hipótese é de que, no período inicial, o primeiro hectare de terra desmatado, dentre aqueles hectares de terras passíveis a conversão, gerará um custo de conversão igual ao preço da terra natural naquele período inicial. Essa hipótese é útil para fins de calibração, uma vez que implica igualdade entre preço da terra natural (variável observada) e custo de conversão (variável não observada), e que é condizente com a condição de lucro zero necessária para representar o equilíbrio setorial em um modelo de equilíbrio geral.

A relação entre o custo de conversão, o preço da terra e a renda da terra reflete que, se o preço das terras naturais de determinada região é baixo, e a região possui uma vasta área passível a conversão, o custo de conversão também será baixo e a renda a ser obtida a partir dessa área convertida deverá ser igual, ou maior, que o custo de conversão. Conseqüentemente, essa região apresentará uma maior chance de novos desmatamentos diante de um choque que represente maior demanda por áreas agrícolas. Em outras palavras, um proprietário de terras naturais desmatará somente se o custo de conversão for menor, ou igual, aos benefícios futuros esperados, ou seja, a renda da terra esperada. Assim, o montante de terra desmatada será determinado em equilíbrio pela condição do custo de conversão igual ao retorno obtido da terra convertida.

De acordo com Gouel e Hertel (2006), o preço da terra natural é determinado pelo valor presente líquido (VPL) do fluxo de rendimentos esperados da terra natural. Dessa forma, o VPL dos rendimentos futuros pode ser expresso da seguinte forma:

$$PTnat_t^i = RTnat_t^i \frac{1+ROR_t^i}{ROR_t^i} \quad (34)$$

Onde $PTnat_t^i$ é o preço médio de um hectare de terra natural na região i , no período t ; $RTnat_t^i$ é a renda da terra por hectare e ROR_t^i é a taxa esperada líquida de retorno na região onde o desmatamento está acontecendo.

Se considerarmos que a terra desmatada trará benefícios no período futuro, da mesma forma que um ativo de investimento, o custo de conversão, então, não será igual ao preço da terra natural, mas será o valor presente do preço da terra natural, no próximo período. O custo de conversão CC_t^i será dado por:

$$CC_t^i = \frac{PTnat_{t+1}}{1+ROR_t^i} \quad (35)$$

Considerando que as expectativas são estáticas, temos:

$$CC_t^i = \frac{PTnat_t}{1+ROR_t^i} \quad (36)$$

Substituindo a equação (34) na (36) obtemos:

$$CC_t^i = \frac{RTnat_t^i}{ROR_t^i} \quad (37)$$

A Tabela 2 apresenta os valores da renda da terra natural, a taxa de retorno e o custo de conversão de novas áreas. A taxa de retorno foi calculada de acordo com a equação (34), utilizando o preço médio da terra natural e a renda da terra natural. A média de preço da terra natural, por região, foi determinada por meio dos dados da série de preços de venda das terras de mata e campo, de 1977 a 2006, coletados pela FGV/IBRE e deflacionados pelo índice IGP-DI, considerando como base o ano de 2006. A renda da terra natural foi calculada de acordo com os procedimentos detalhados em 3.2.2. O custo de conversão foi calculado utilizando a equação (37), que envolve simplesmente a divisão entre as rendas de terra e as taxas de retorno. O cálculo do custo de conversão para a região nordeste foi baseado apenas nas informações dos Estados do Maranhão, Piauí e Bahia, uma vez que os demais Estados não possuem grande capacidade de conversão.

Tabela 2: Custo de conversão da terra

Brasil e Macroregiões	RTnat (R\$/ha)	PTnat (R\$/ha)	ROR	CC (\$/ha)
Norte	18.34	388	0.05	369.46
Nordeste	58.39	657	0.10	598.75
Sudeste	189.50	1 810	0.12	1620.36
Centro-Oeste	66.34	1 389	0.05	1322.48
Sul	137.71	3 908	0.04	3770.22
Brasil	87.93	1 224	0.07	1136.34

Fonte: Resultados da pesquisa

Para o levantamento dos hectares de terras em seus diferentes usos e das terras passíveis à conversão, foram utilizados os dados do Mapeamento Sistemático do Uso da Terra do

IBGE, empregados no projeto “Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil”⁴. Foram extraídos dos arquivos vetoriais disponibilizados pela instituição as informações, em área, das 14 classes de cobertura e do uso da terra considerada na pesquisa, no ano de 2014. Para a dissertação em questão, foram utilizadas 9 classes, compiladas de forma conveniente às necessidades da pesquisa, chegando a 5 classes de terras finais: terras agrícolas, pastagem natural, pastagem plantada, silvicultura e vegetação florestal. O Quadro 8, no anexo A, contém a definição das 9 classes de terras extraídas do IBGE.

Os mosaicos de uso da terra foram ponderados com as mesmas proporções adotadas pelo Climate Policy Initiative⁵. No “Mosaico de área agrícola com remanescentes florestais” foi atribuído um peso de 37,5% à vegetação nativa; 12,4% à agricultura e 50,1% à pastagem. No “Mosaico de vegetação Florestal com Atividade Agrícola”, 62,5% foi atribuído à vegetação florestal; 7,5% à agricultura e 30% à pastagem. Por fim, no “Mosaico de área agrícola com remanescentes campestres”, o peso da vegetação nativa foi de 37,5%; agricultura, 12,4% e pastagem, 50,1%. Portanto, a terra de pastagem plantada nada mais é que a soma da classe 2 com 50,1% da classe 3, 30% da classe 6 e 50,1% da classe 9. As terras agrícolas são a soma da classe 1 com 12,4% da classe 3, 7,5% da classe 6 e 12,4% da classe 9. Já as áreas de vegetação natural a serem implementadas no modelo e no cálculo dos parâmetros são obtidas pela soma da vegetação florestal (classe 5) com a pastagem natural (classe 8), vegetação campestre (classe 7), 37,5% da classe 3, 62,5% da classe 6 e 37,5% da classe 9.

Foram subtraídos dessas áreas naturais os hectares de terras destinados à conservação ambiental, chegando, enfim, nas áreas consideradas aptas à conversão. O art. 12 da Lei n. 12.651 estabelece que todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, observado um percentual mínimo em relação à área do imóvel. Na Amazônia Legal, de 80% no imóvel situado em área de florestas, 35% no situado em área de cerrado e 20% no situado em área de campos gerais. Para os imóveis localizados nas demais regiões do País, o valor estipulado é de 20% (BRASIL, 2012). Dessa forma, levando em consideração a proporção de cada bioma, em cada Estado, foram considerados 80% de reserva legal na região norte, 35% no nordeste e centro-oeste e 20% na região sudeste e sul. O valor final das áreas de cada uso da terra incorporado no modelo, assim como o desmatamento anual, segue na Tabela 3.

⁴ <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/default.shtm>

⁵ As ponderações foram gentilmente disponibilizadas pelo pesquisador e diretor executivo Juliano Assunção. Agradecemos a gentileza.

Tabela 3: Áreas dos diferentes usos da terra (milhões de hectar)

Brasil e Macroregião	Áreas agrícolas	Pastagem	Silvicultura	Reserva legal	Área apta a conversão	Média de desmatamento anual
Norte	4,51	38,41	0,33	257,99	64,50	0,72
Nordeste	10,31	27,79	0,84	7,72	14,34	0,45
Sudeste	16,79	32,37	3,70	7,16	28,64	0,08
Centro-Oeste	21,00	53,73	0,84	28,16	52,30	0,39
Sul	17,80	11,58	2,88	4,32	17,28	0,05
Brasil	73,99	173,06	8,60	307,71	181,43	1,82

Fonte: Elaboração própria, baseada nos dados do projeto Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil – IBGE e Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – MMA

O levantamento das médias de desmatamento anual foi feito por meio dos dados disponibilizados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBSO⁶. Os dados por bioma foram compilados, de forma a representar as médias de desmatamento por Estado e por macrorregiões. No entanto, na região nordeste, foram considerados os desmatamentos somente dos Estados da Bahia, Maranhão e Piauí, uma vez que o desmatamento atual dos demais Estados ocorre no bioma caatinga, em sua grande maioria em prol da produção de carvão vegetal, e não de produção agrícola ou pecuária. Os dados de desmatamento por região foram utilizados para calibrar o montante desmatado em um dado momento no modelo. A representação gráfica da alocação dos diferentes tipos de terra em cada macroregião brasileira segue no Gráfico 2.

⁶ Desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente - SBF/MMA - http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/

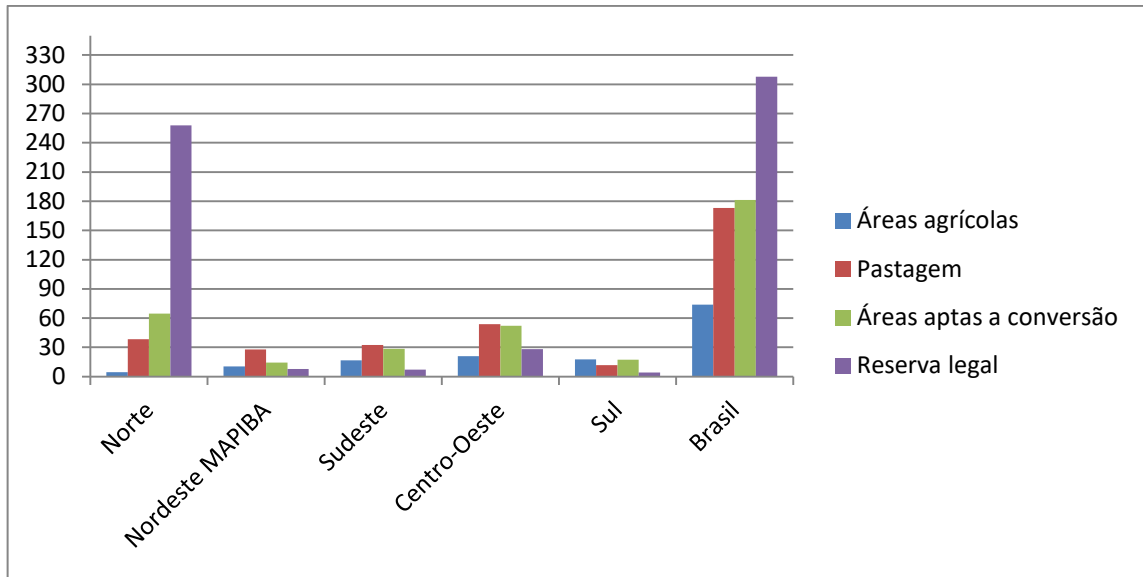


Gráfico 2: Diferentes tipos de terra em cada macroregião brasileira e Brasil

Fonte: Elaboração própria, baseada nos dados do projeto Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil – IBGE

O custo de conversão muda à medida que novas áreas são desmatadas. Como a função de custo de conversão é convexa, à medida que o desmatamento aumenta, o custo de conversão de um hectare adicional sobe. Tal implicação é condizente com a teoria ricardiana, de que as terras exploradas primeiro são aquelas com maior facilidade de acesso. Dessa forma, assumimos que os custos de conversão se tornam infinitos à medida que se aproximam do desmatamento do último hectare de terra disponível, o que significa que esse último hectare se torna economicamente inacessível. Várias formas funcionais podem representar tal situação. A escolhida para essa dissertação foi a utilizada por Gouel e Hertel (2006) e Chakravorty *et al.* (2012):

$$CC_t^i = -\alpha \ln\left(\frac{\bar{h}-h}{\bar{h}}\right) + \beta \quad (38)$$

Onde \bar{h} é o total de terra disponível, ou seja, é o total de terras passíveis à conversão, incluindo a área já convertida e em uso. O h representa a área em uso atualmente. Note que $\bar{h} - h$ é a área disponível para conversão, passível a desmatamento. E que $\left(\frac{\bar{h}-h}{\bar{h}}\right)$ é limitado entre zero e um, de modo que o \ln é limitado entre $[-\infty, 0]$. Os parâmetros α e β são positivos no modelo e variam por região. O α é o parametro de inclinação e β é o parametro de nível, representando, implicitamente, o custo de conversão do primeiro hectare de terra desmatada, ou seja, representa, implicitamente, os custos de conversão quando $h = 0$. O parâmetro β irá

nos dizer o ponto no qual essa função custo começa: se ela parte de um ponto mais alto ou mais baixo da curva, representando a heterogeneidade da terra em cada região. Ou seja, β está diretamente relacionado com as características da terra de cada região, (Gouel e Hertel, 2006).

O problema de calibração consiste em escolher α e β que combine as informações sobre o custo de conversão e a elasticidade do custo de conversão em relação à terra utilizada. O parâmetro de interseção, β , é calculado por meio da própria função de custos de conversão, após encontrar o valor de α . O parâmetro α , que é o parâmetro de inclinação, pode ser calculado a partir da elasticidade σ , de acordo com Gouel e Hertel (2006):

$$\sigma = \frac{\alpha}{CC} \cdot \frac{1}{\bar{h}/h - 1}$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial h} = \frac{\alpha \bar{h}}{CC(\bar{h}-h)^2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha h}{CC\bar{h}}\right) > 0 \quad (39)$$

No entanto, um importante limitante é a ausência de dados ou informações sobre a elasticidade do custo de conversão de cada estado e macrorregiões brasileiras. Portanto, foi adotada uma abordagem simples, assim como em Gouel e Hertel (2006), para determinar essa elasticidade. Considera-se que quanto menos áreas passíveis a conversão houver em uma região, maior será a elasticidade do custo de conversão. Em contrapartida, quanto maior a área de floresta disponível para desmatamento, menor a elasticidade. Essa abordagem garante que quanto menos terra existir para desmatar, mais cara ficará a conversão. Dessa forma, após determinarmos os valores das elasticidades em cada região, torna-se possível o cálculo dos parâmetros. Os valores das elasticidades e dos parâmetros seguem na Tabela 4.

Tabela 4: Elasticidades e parâmetros da função de custo de conversão

Brasil e Macrorregiões	σ	α	β
Norte	0,450	248	242
Nordeste	1,181	260	257
Sudeste	0,901	791	794
Centro-Oeste	0,770	704	693
Sul	0,903	1824	1849
Brasil	0,724	663	602

Fonte: Resultados da pesquisa

A equação do custo de conversão é negativa porque se trata de um custo. À medida que mais terras vão sendo convertidas, h aumenta e o numerador diminui, aumentando o custo de conversão, uma vez que o denominador da equação (38) é constante. Com o tempo, as terras

marginais vão sendo utilizadas e o custo de conversão vai aumentando. O que se pretende capturar com essa abordagem é exatamente a taxa de aumento do custo de conversão, ou seja, a proporção e a velocidade com que o aumento ocorre. O custo irá sempre aumentar em maiores proporções que o desmatamento. Como a terra é escassa e seu nível de escassez é medido em termos de custos de oportunidade, o custo de conversão se torna uma boa proxy, que representa os custos de oportunidade de utilização da terra.

3.3 A nova especificação da demanda no modelo PAEG

O banco de dados que será utilizado é o 4.0 do PAEG, representando o ambiente econômico de 2011. Nessa base de dados as famílias estão desagregadas em dez diferentes classes de renda. No entanto, como análises sobre distribuição de renda não são o foco da dissertação em questão, será considerada apenas uma família representativa por região, cujos parâmetros será a soma ponderada dos dados das famílias desagregadas. A maioria dos modelos utiliza a função de utilidade CES nas estimativas de demanda. No PAEG, a função de demanda original é uma função de bem-estar Cobb Douglas, de elasticidade de substituição unitária, entre todos os bens e serviços que participam do consumo final.

Nesse tipo de função, assim como na função de utilidade CES, a demanda é proporcional à renda. Os retornos constantes de escala sugerem uma elasticidade-renda igual a um para todos os bens. Esse tipo de especificação é inconsistente com as tendências de longo prazo e com o fato de as famílias de baixo rendimento tenderem a gastar uma proporção muito maior de sua renda com alimentos, quando comparado com as famílias de rendimentos elevados. Muitos estudos mostram que a alocação dos gastos em consumo de alimentos tende a diminuir à medida com que a renda cresce, o que sugere uma elasticidade-renda menor que um (HAQUE, 2005; ZHOU, 2012).

Nesse sentido, faz-se necessária a utilização de funções de demanda não-homogêneas, com preferências não-homotéticas, no processo de modelagem. A função de utilidade Stone-Geary, que por sua vez dá origem ao sistema linear de equações de demanda (LES), será, então, utilizada na modelagem da demanda no PAEG, de acordo com a abordagem de Markusen (2006). A mesma abordagem pode ser encontrada em Gurgel *et al.* (2016) e Chen *et al.* (2015). A função de utilidade Stone-Geary (LES) é, frequentemente, usada para modelar problemas que envolvem níveis de consumo de subsistência. Nestes casos, um determinado nível mínimo de algum bem tem de ser consumido, independentemente do seu preço ou da renda do consumidor. Ou seja, a função de utilidade Stone-Geary (LES) nada mais é que uma

função CES ou Cobb-Douglas, cujo ponto de referência do consumo se inicia acima do ponto zero do consumo (diferentemente das funções homogêneas, em que o consumo se inicia no ponto zero).

Na Figura 11 segue a apresentação gráfica dos caminhos de expansão da renda das preferências Stone-Geary. Nesse caso, V_1 e V_2 são as quantidades mínimas consumidas dos bens q_1 e q_2 , respectivamente. As linhas que interceptam V_1 e V_2 representam o caminho de expansão da renda. Como a utilidade ocorre no ponto de intercepto entre a curva de indiferença e a restrição orçamentária do indivíduo, o mesmo não receberá utilidade positiva até que as necessidades mínimas de consumo sejam atendidas. Além disso, considera-se uma renda mínima de subsistência para o consumidor, (ATEHORTÚA *et al.* 1996).

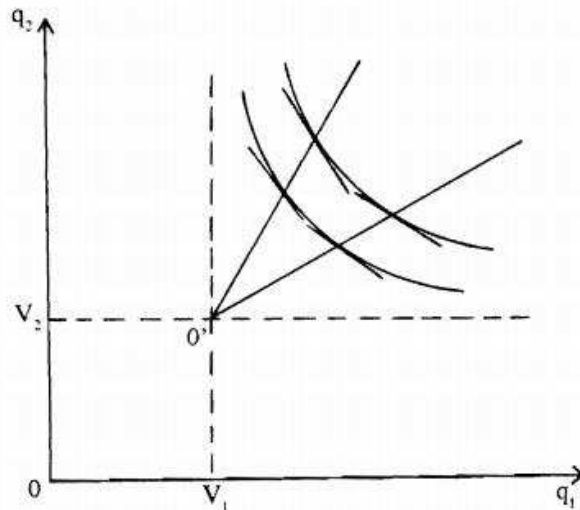


Figura 11: Caminhos de expansão da renda das preferências Stone-Geary
Fonte: Atehortúa *et al.* (1996)

Esse tipo de sistema, portanto, requer um parâmetro de deslocamento, que altera o ponto de referência do consumo, fazendo com que ele seja diferente de zero. Assim, ao invés de alterar as despesas, foram criados parâmetros de mudança para a função de despesa. Cada parâmetro altera o ponto de referência. Esses parâmetros de deslocamento, ou nível de consumo de subsistência, são calibrados para corresponder às elasticidades-renda estimadas de cada região. Como o foco da dissertação está sobre o consumo final de alimentos, foram incorporadas apenas estimativas de elasticidade-renda para alimentos, culturas e produtos pecuários. Tais elasticidades foram extraídas de Reimer *et al.* (2004) e extrapoladas para as macrorregiões do Brasil. Para os demais setores produtores de bens e serviços, foi calculada uma elasticidade-renda média com base na agregação de Engel, assim como em Gurgel *et al.* (2016).

De acordo com Chen *et al.* (2015), a função de utilidade U , com preferências sobre N commodities de índice i onde c_i é o consumo da commodity i , c_i^* é o parâmetro de mudança do consumo da commodity i e w é a restrição orçamentária, segue a seguinte especificação:

$$u = U(c_1 - c_1^*, c_2 - c_2^*, \dots, c_N - c_N^*) \quad (40)$$

A elasticidade-renda do consumo da mercadoria i é definida como:

$$\eta_i = \left(\frac{c_i - c_i^*}{c_i} \right) / \left(\frac{w - \sum_{i=1}^N c_i^*}{w} \right) \quad (41)$$

Por meio da agregação de Engel, pode-se mostrar que, para um dado η_i , a solução de c_i que satisfaz a equação (41) é:

$$c_i^* = (1 - \eta_i)c_i \quad (42)$$

Com a equação (42), podemos calcular o c_i , tal que a elasticidade-renda da demanda por commodity i seja η_i . Dessa forma, foi possível incorporar as estimativas de elasticidade-renda existente para o consumo final de alimentos e carne, e aplicar a média das elasticidade-renda para os demais setores, de forma uniforme, derivada da agregação de Engel, conforme Chen *et al.* (2015) e Gurgel *et al.* (2016).

A fim de provar que a equação (42) é a solução para a equação (41), dois passos devem ser seguidos: dada a restrição orçamentária $\sum_{i=1}^N c_i = w$, para todo $i = 1, 2, \dots, N$, e dado que $c_i^* = (1 - \eta_i)c_i$ é a solução para um dado vetor η_i , o primeiro passo é reorganizar os termos, dada a definição de η_i , partindo de (43) e chegando em (44):

$$\frac{\eta_i}{\eta_j} = \frac{\left(\frac{c_i - c_i^*}{c_i} \right) / \left(\frac{w - \sum_{i=1}^N c_i^*}{w} \right)}{\left(\frac{c_j - c_j^*}{c_j} \right) / \left(\frac{w - \sum_{j=1}^N c_j^*}{w} \right)} = \frac{\left(\frac{c_i - c_i^*}{c_i} \right)}{\left(\frac{c_j - c_j^*}{c_j} \right)} \quad (43)$$

$$\frac{c_j - c_j^*}{c_i - c_i^*} = \frac{\eta_j c_j}{\eta_i c_i} \quad (44)$$

O segundo passo é provar que $c_i^* = (1 - \eta_i) c_i$ é solução da equação (43) e (44). Para provar a solução da equação (44), basta incluir $c_i^* = (1 - \eta_i) c_i$ do lado direito da equação (43):

$$\frac{c_i - c_i^*}{c_i} = \frac{c_i - (1 - \eta_i)c_i}{c_i} = \eta_i \quad (45)$$

Para provar a solução da equação (43), partimos da restrição orçamentária $\sum_{i=1}^N c_i = w$ e da hipótese adicional de que as demandas são diferenciáveis, implicando na agregação de Engel $\sum_{i=1}^N \frac{c_i}{w} \eta_i = 1$, o que gera:

$$\frac{w - \sum_{i=1}^N c_i^*}{w} = \frac{w - \sum_{i=1}^N (1 - \eta_i)c_i}{w} = \frac{w - \sum_{i=1}^N c_i + \sum_{i=1}^N \eta_i c_i}{w} = \sum_{i=1}^N \frac{c_i}{w} \eta_i = 1 \quad (46)$$

O numerador do lado direito da equação (43) nada mais é que η_i , e o denominador é η_j . Portanto, tem-se que $c_i^* = (1 - \eta_i)c_i$ é a solução do problema, (CHEN *et al.*, 2015). Esse procedimento de modelagem, além de permitir uma elasticidade-renda da demanda diferente de um, permite que a mesma varie de acordo com a renda. A parcela do orçamento gasto em c_i cai à medida que a renda aumenta, aproximando-se assintoticamente de η_i .

Finalmente, a nova estrutura de demanda das famílias segue na Figura 12. As famílias decidem se demandam bens domésticos ou importados por meio de um função CES, com base na minimização dos seus gastos totais. A escolha entre os bens é especificada a partir da função de utilidade não homotéticas Stone-Geary e os serviços gerados por terras naturais se encontram no topo da estrutura, especificado por uma função CES com elasticidade igual a 0,5, como em Gurgel *et al.* (2016).

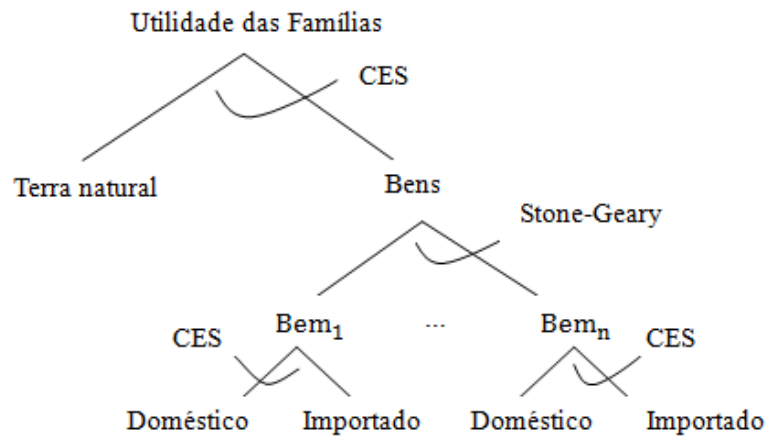


Figura 2: Estrutura de demanda das famílias
 Fonte: Elaboração própria baseada em Gurgel *et al.* (2016)

Essa estrutura de demanda permite representar o trade-off entre manter a terra com vegetação natural ou desmatá-la para produção agrícola. A terra com vegetação natural pode ser mantida com o intuito de servir como reserva de valor, ou ainda gerar amenidades, serviços de recreação e lazer ou serviços ambientais. Se o serviço, ou bem, gerado a partir da terra desmatada implicar um aumento no bem-estar das famílias, marginal superior à perda marginal de bem-estar, advinda da diminuição do serviço proporcionado pela área natural antes de ser desmatada, a conversão ocorrerá.

3.4 Fonte dos dados

A descrição e fonte dos dados utilizados na pesquisa seguem no Quadro 2.

Quadro 2: Descrição e fonte dos dados utilizados na pesquisa

Dados	Descrição	Fonte
Áreas de terras em seus diferentes usos	Dados do Mapeamento Sistemático do Uso da Terra do IBGE, empregados no projeto “Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil” – 2016	IBGE
Preços médios de terras agrícolas	Série de preços de venda das terras de culturas e pastagens, de 1977 a 2006, deflacionados pelo índice IGP-DI, considerando como base o ano de 2006.	FGV/IBRE
Preços médios de terras naturais	Série de preços de venda das terras de mata e campo, de 1977 a 2006, deflacionados pelo índice IGP-DI, considerando como base o ano de 2006	FGV/IBRE
Médias de desmatamento anual	Dados disponibilizados pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBSO	Ministério do Meio Ambiente - SBF/MMA
Despesa com arrendamento de terras	Censo Agropecuário de 2006 - Tabela 2.4.8 - “Despesas realizadas pelos estabelecimentos no ano” – “Arrendamento de terras” – “valor”	IBGE
Total de estabelecimentos com despesa de arrendamento	Censo Agropecuário de 2006 - Tabela 2.4.8 - “Despesas realizadas pelos estabelecimentos no ano” – “Arrendamento de terras” – “Estabelecimentos”	IBGE
Áreas de Terras Arrendadas	Censo Agropecuário de 2006 - Tabela 2.1.1 - “Condição legal das terras” – “Arrendadas” – “Áreas”	IBGE
Total de estabelecimentos com terras arrendadas	Censo Agropecuário de 2006 - Tabela 2.1.1 - “Condição legal das terras” – “Arrendadas” – “Estabelecimentos”	IBGE
Áreas de Terras Produtivas utilizada pelos estabelecimentos	Censo Agropecuário de 2006 - Tabela 2.2.14 – “Utilização das terras nos estabelecimentos, por tipo de utilização”	IBGE

Valor da produção dos estabelecimentos	Censo Agropecuário de 2006 – Tabela 2.4.7 – “Valor da produção dos estabelecimentos no ano”	IBGE
Produção total de cana-de-açúcar	Dados disponibilizados no quarto levantamento do “Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar “ – Safra 2015/16	Companhia Nacional de Abastecimento (Conab)
Cana-de açúcar destinada ao etanol	Dados disponibilizados no quarto levantamento do “Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar “ – Safra 2015/16	Companhia Nacional de Abastecimento (Conab)
Áreas de terras destinadas a cana-de-açúcar	Área plantada de cana-de-açúcar no ano de 2015 nas regiões brasileiras	União da indústria de cana-de-açúcar (UNICA)

Fonte: Elaboração própria

4 RESULTADOS

4.1 Cenários de expansão e estagnação

Todos os choques do modelo foram baseados nos cenários de expansão e estagnação projetados pela União da Indústria de Cana-De-Açúcar (UNICA) e apresentados na “Audiência Pública na Comissão Mista sobre Mudanças Climáticas: O papel do etanol para o Clima” em novembro de 2016. A definição dos cenários segue no Quadro 3.

Quadro 3: Cenários de estagnação e expansão da cana-de-açúcar para o ano de 2030

Cenário de estagnação	Cenário de expansão
<p>Apresenta a produção esperada em um contexto de manutenção do status quo, sem a implementação de políticas públicas que contemplem uma clara sinalização de incentivos de longo prazo direcionados à ampliação da produção doméstica de etanol. Nesse caso, tem-se a quase estagnação da produção de cana-de-açúcar, que cresce apenas para manter a participação do açúcar brasileiro no mercado mundial. A bioeletricidade exportada pelo setor sucroenergético ao grid deve se expandir, mas em função dos compromissos já firmados pelo setor até 2020. Após essa data são considerados apenas ganhos marginais de eficiência.</p>	<p>Retrata o crescimento possível da produção nacional de etanol diante da adoção de políticas efetivas de longo prazo que estimulem o aumento do setor sucroenergético na matriz energética nacional. Nesse cenário acredita-se que o consumo de etanol hidratado em 2030 possa ter uma participação de 31,5% do ciclo Otto (mesmo valor de 2009), assim como haveria condições para o desenvolvimento do etanol de segunda geração. Melhores políticas para o etanol conduzem a adoção das melhores tecnologias também no que diz respeito à maximização da bioeletricidade</p>

Fonte: União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) em “Audiência Pública na Comissão Mista sobre Mudanças Climáticas: O papel do etanol para o Clima”

De acordo com as projeções da UNICA, no cenário de estagnação, a produção nacional de cana-de-açúcar será de 731 milhões de toneladas, e, no cenário de expansão, de 1.015 milhões de toneladas. O consumo nacional de etanol combustível será de 21,6 bilhões de litros no cenário de estagnação e 50,9 bilhões de litros no cenário de expansão. Os hectares de área colhida de cana serão de 7,7 milhões no cenário de estagnação e 10,7 milhões no cenário de expansão. A fim de regionalizar essas projeções de acordo com macroregiões brasileiras foi calculada a quantidade de cana-de-açúcar destinada ao etanol em cada macroregião de acordo com os dados estaduais de “Produção total de cana-de-açúcar” e “Cana-de açúcar destina ao etanol”, na safra 2015/2016, fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) ⁷. Essas proporções foram extrapoladas para os cenários de expansão e estagnação projetadas para 2030. Os valores seguem na Tabela 5.

⁷ http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_03_29_boletim_cana_portugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf

Tabela 5: Produção de cana-de-açúcar total e destinada ao etanol na safra de 2015/2016 e nos cenários de 2030 (milhões de toneladas)

Brasil e macrorregiões	Produção total de cana-de-açúcar 2015/2016	Cana-de açúcar destinada ao etanol 2015/2016	Cana-de açúcar destinada ao etanol cenário estagnação 2030	Cana-de açúcar destinada ao etanol cenário expansão 2030
Norte	3 542	3 251	3 570	4 957
Nordeste	45 275	23 405	25 704	35 690
Sudeste	436 439	238 411	261 825	363 547
Centro-Oeste	139 026	111 247	122 172	169 638
Sul	41 347	20 234	22 221	30 854
Brasil	665 629	396 548	435 493	604 685

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar (CONAB).

4.2 Simulações

A fim de investigar os objetivos gerais e específicos dessa dissertação, 5 cenários diferentes serão simulados. Os choques e suas descrições seguem no Quadro 4.

Quadro 4: Descrição dos choques utilizados na pesquisa

Choques	Descrição
CH 1: Aumento nacional de demanda de cana-de-açúcar em um cenário de expansão	Foi simulado um aumento de demanda nacional hipotética de cana-de-açúcar para etanol, de forma a gerar um aumento de oferta de cana equivalente ao cenário de expansão do Quadro 3.
CH 2: Aumento nacional de demanda de cana-de-açúcar em um cenário de estagnação	Foi simulado um aumento de demanda nacional hipotética de cana-de-açúcar para etanol, de forma a gerar um aumento de oferta de cana equivalente ao cenário de estagnação do Quadro 3.
CH 3: Aumento regional de demanda de cana-de-açúcar em um cenário de expansão	Foi simulado um aumento de demanda regional hipotética de cana-de-açúcar para etanol, de forma a gerar um aumento de oferta de cana equivalente ao cenário de expansão do Quadro 3.
CH 4: Aumento regional de demanda de cana-de-açúcar em um cenário de estagnação	Foi simulado um aumento de demanda regional hipotética de cana-de-açúcar para etanol, de forma a gerar um aumento de oferta de cana equivalente ao cenário de estagnação do Quadro 3.
CH 5: Aumento da produtividade da terra destinada a produção de cana-de-açúcar	Foi simulado um aumento exógeno da produtividade de 2% da terra destinada à produção de cana-de-açúcar. A demanda e oferta de cana-de-açúcar permanecem inalteradas.

Fonte: Elaboração própria

No CH 1, o Brasil passa a produzir 604.685 milhões de toneladas de cana destinada ao etanol em 2030, um incremento de 52% quando comparado à produção de 2015/2016. Em CH 2, a produção é de 435.493 milhões de toneladas de cana, o que equivale a um incremento de

10%, comparado com 2015/2016. Nesses dois cenários, a expansão é nacional, ou seja, o Brasil aumenta sua oferta de cana-de-açúcar para satisfazer um aumento hipotético da demanda nacional. Nesse caso, as regiões respondem de acordo com suas vantagens comparativas na produção de cana-de-açúcar. Ou seja, as regiões com maior produtividade e facilidade de especialização serão aquelas que apresentarão maior expansão após o choque. Nos cenários CH 3 e CH 4, os mesmos incrementos de expansão e estagnação dos choques anteriores são implementados. No entanto, as expansões ocorrem regionalmente. Nesse caso, o Brasil aumenta sua oferta de cana-de-açúcar para satisfazer um aumento hipotético da demanda regional. As expansões ocorrerão de acordo com as produções projetadas para cada região na Tabela 5 acima. Por exemplo, em CH 3, a região Norte passa a produzir 4.957 milhões de toneladas de cana após o choque, o Sudeste 363.547 milhões de toneladas, assim como as demais regiões.

O modelo possui um mecanismo endógeno que representa a possibilidades de mudanças na produtividade da terra ao permitir que os fatores de produção (terra, capital e trabalho) tenham algum grau de substituição no valor adicionado. Ou seja, mesmo nos cenários mais pessimistas de expansão, ocorrem variações na produtividade da terra. Inclusive, no cenário otimista de expansão (CH 1), o ganho de produtividade endógeno já é próximo ao previsto pela UNICA, uma vez que o crescimento simulado na produção de cana leva a uma expansão da área de cana de 2,05 milhões de hectares, enquanto a UNICA prevê uma área de expansão de 2 milhões de hectares em 2030. Ainda assim, foi simulado um ganho exógeno de produtividade da terra destinada ao cultivo de cana-de-açúcar no último cenário, no valor de 2%. Dessa forma, será possível investigar se aumentos exógenos na produtividade da terra, advindos de avanços tecnológicos na produção e colheita de cana, impactam, em alguma magnitude, os resultados de mudanças no uso da terra. Esse aspecto é importante no processo de mitigação das Emissões Indiretas dos Gases de Efeito Estufa proveniente da mudança do uso da terra.

Como o modelo não representa explicitamente a produção e o consumo de etanol, os choques de crescimento na demanda de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol são artificiais e representam o que aconteceria em termos de uso da terra e produção agrícola, caso fosse necessário satisfazer tal demanda com uma oferta equivalente deste produto. Como o modelo é estático, os resultados de todos os choques devem ser interpretados como o que aconteceria caso tal incremento na oferta/demanda de etanol acontecesse, considerando que não haja nenhum outro choque econômico alterando a dinâmica da economia. Ou seja, considera-se que não aconteçam mudanças na oferta ou na demanda de outros setores,

mudanças na renda das famílias, nem aumentos em produtividade ou na oferta de fatores produtivos, dentre outros. Portanto, não há evolução na produção dos demais insumos agropecuários e fatores produtivos, de forma que a expansão da cana-de-açúcar só é possível pela realocação dos fatores produtivos entre os setores econômicos e consequente contração dos demais setores. Tal ideia vai de encontro ao objetivo da pesquisa, de verificar como o crescimento da produção de cana-de-açúcar destinada ao etanol afetaria a produção agrícola e a competição pelo uso da terra.

Como no modelo PAEG a produção de etanol encontra-se no setor “Químicos, ind. borracha e plásticos (crp)”, e não no setor “Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)”, foi utilizado como referência o valor das compras de cana-de-açúcar pelo setor de químicos. Tendo como base o valor de cana comprado pelo setor de químicos e os valores de choques da Tabela 5, foi simulado que a região mais rica do modelo passasse a demandar a quantidade de cana-de-açúcar equivalente aos valores dos choques (sem custos de transportes, de transação ou tarifas, com o intuito a distorcer o mínimo possível outras transações econômicas). Dessa forma, cada choque foi calculado como a multiplicação do seu respectivo incremento pelo valor de cana direcionada ao etanol no ano base do modelo (aquele valor comprado pelo setor de químicos), permitindo que o impacto ocorresse sobre o setor de cana-de-açúcar (c_b).

4.3 Resultados das variações nos usos da terra

Na Tabela 6 encontram-se os valores iniciais das terras destinadas às culturas em cada macrorregião, assim como os valores após a implementação de cada choque. Vale notar que as mudanças no uso da terra são consequência apenas dos choques simulados de aumentos na produção de cana-de-açúcar destinada ao etanol, ou seja, não captam nenhum outro efeito ou tendência observada nas economias das regiões nos últimos anos. Isso significa que os resultados aqui obtidos são isolados dos efeitos de desmatamento, expansão da fronteira agrícola, ou mesmo da regeneração de áreas de vegetação natural que possam estar ocorrendo como consequência de outros fenômenos socioeconômicos, como em Gurgel (2011).

Portanto, observa-se um aumento dos hectares destinados a culturas em todas as regiões do Brasil quando os choques aplicados foram de aumento da produção de cana-de-açúcar destinado ao etanol, ou seja, nos choques CH 1, CH 2, CH 3 e CH 4. Esse aumento das áreas cultivadas são ligeiramente maiores nos cenários de expansão que de estagnação e ocorrem de forma mais acentuada no Nordeste. Ressalta-se que o estudo em questão

considera que expansões em área nessa região são possíveis somente nos estados do Maranhão, Piauí e Bahia (MAPIBA). Para o Brasil, de maneira geral, o aumento dos hectares destinados a culturas, nos cenários otimistas, CH 1 e CH 3, foram de 1,12 milhões de hectares e 910 mil hectares, respectivamente. Esses resultados mostram que um crescimento da produção de cana, para satisfazer um aumento de demanda, nacional ou regional, provoca uma expansão das áreas cultivadas, de forma a acomodar a necessidade de expansão da área plantada de cana-de-açúcar.

O choque de aumento da produtividade (CH 5) foi o único que provocou quedas nas áreas destinadas às culturas. Para o Brasil, a diminuição foi de 300 mil hectares, de forma mais acentuada no Nordeste. Verifica-se, portanto, que um aumento pequeno na produtividade da terra utilizada na produção de cana é capaz de acomodar o choque de expansão da produção de cana-de-açúcar, e ainda provocar um efeito poupa-terra. Ou seja, é necessário menos terra para produzir a mesma quantidade de culturas e cana-de-açúcar, o que indica que ganhos de produtividade na terra destinada à cana-de-açúcar poderia acomodar o cenário de expansão sem pressão por competição de terras.

Tabela 6: Área de terras destinadas as culturas, valores iniciais e após os choques (milhões de hectares)

Brasil e Macrorregiões	Área inicial	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Norte	4,84	4,95	4,86	4,90	4,85	4,83
Nordeste	11,15	11,64	11,25	11,59	11,24	10,98
Sudeste	20,50	20,64	20,53	20,73	20,55	20,45
Centro-Oeste	21,85	22,16	21,91	21,99	21,88	21,81
Sul	20,68	20,75	20,70	20,72	20,69	20,65
Brasil	79,01	80,13	79,24	79,92	79,20	78,71

Fonte: Resultados da pesquisa

Em relação às áreas destinadas a pastagens antes e após os choques, observa-se na Tabela 7, uma diminuição de pastagens em todos os cenários e quase todas as regiões. Ou seja, o aumento da produção de cana-de-açúcar ou da produtividade da terra destinada à cana provoca uma diminuição das pastagens em quase todas as macrorregiões brasileiras, com exceção da região Norte no CH 3, que apresentou ligeiro aumento das áreas de pastagem, e regiões Sul e Centro-Oeste em CH 5, que não apresentaram alterações significativas. A diminuição das pastagens é mais acentuada nos choques que representam os cenários otimistas, CH 1 e CH 3. Para o Brasil, por exemplo, 990 mil hectares e 790 mil hectares diminuíram, respectivamente. Esse encolhimento é sentido principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste.

Essas regiões são tradicionalmente conhecidas como abundantes em pastagens e suas diminuições podem estar relacionadas com a conversão direta e indireta do uso da terra em prol do aumento da produção de cana. Como observado em Nassar et al. (2010), nos períodos entre 2005 e 2008, a cana-de-açúcar expandiu, na sua grande maioria, sobre as áreas de pastagens, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, e cerrado do Nordeste. O aumento da produtividade da terra utilizada na produção da cana também seria um incentivo para converter pastos em canaviais, principalmente nos Estados com abundância de pastagem e clima propício à plantação de cana-de-açúcar. Os resultados da pesquisa em questão também estão de acordo com os resultados do segundo cenário de expansão dos biocombustíveis de Gurgel (2011), segundo o qual ocorre uma perda significativa do Cerrado brasileiro (cuja extensão territorial abrange boa parte da região Centro-Oeste e MAPIBA) em prol do aumento de áreas de culturas.

No choque que representa a expansão da oferta da cana-de-açúcar regionalmente (CH 3), a região Norte apresentou um ligeiro aumento na área destinada à pastagem de 30 mil hectares, o que pode ser justificado pela diminuição das pastagens nas demais regiões. Uma vez que as demandas por alimentos, como leite e carne, não são alteradas na aplicação do choque, é esperado que ocorra uma competição pelo uso da terra entre os diferentes usos, com possível conversão indireta do uso da terra, diferenciada entre regiões, a fim de acomodar as necessidades de alimentos, que se alteram apenas devido a mudanças em preços relativos. O aumento das pastagens em algumas regiões e decréscimo em outras reflete essa competição, uma vez que as regiões com maior competitividade em cana alocam terras para essa cultura à custa de pastagens, impactando negativamente a produção pecuária, que por sua vez expande-se em regiões com menor resposta à expansão de cana-de-açúcar.

Tabela 7: Áreas de terras destinadas a pastagem, valores iniciais e após os choques (milhões de hectares)

Brasil e Macroregiões	Área inicial	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Norte	38,41	38,40	38,41	38,44	38,41	38,41
Nordeste	27,79	27,38	27,71	27,43	27,72	27,77
Sudeste	32,37	32,20	32,34	32,09	32,32	32,36
Centro-Oeste	53,73	53,40	53,67	53,59	53,71	53,73
Sul	11,58	11,51	11,56	11,54	11,57	11,58
Brasil	163,87	162,88	163,69	163,08	163,73	163,86

Fonte: Resultados da pesquisa

Na Tabela 8, apresentam-se os valores iniciais de desmatamento e os valores após os choques. O Brasil, como um todo, apresenta piora no desmatamento em todos os choques de aumento de demanda por cana-de-açúcar, com valores mais significativos, em termos de

magnitude, naqueles cenários de expansão (CH 1 e CH 3). No choque CH 1, por exemplo, no Brasil, o desmatamento aumenta em 130 mil hectares, de forma mais expressiva nas regiões Norte e Nordeste. Nos cenários de estagnação (CH 2 e CH 4), o aumento do desmatamento foi mais sutil. No choque CH 2, por exemplo, o desmatamento do Brasil foi de 50 mil hectares. Nesses cenários, as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul não apresentaram variações expressivas, deixando o Norte e o Nordeste absorverem todo o impacto sobre o desmatamento. Esse resultado é condizente com a pressuposição estabelecida nessa pesquisa em relação a quantidade de terras aptas a conversão. Portanto, independente do choque, as evidências de competição entre cana-de-açúcar e floresta são claras, com impactos sobre as regiões com maior abundância de vegetação natural no país, o Norte e Nordeste (MAPIBA). Todavia, é importante destacar que o modelo assume a hipótese de ausência de ganhos de produtividade por avanço tecnológico e que, desse modo, os resultados de desmatamento devem ser interpretados com cautela.

Tais resultados estão condizentes com o Estudo de Baixo Carbono para o Brasil, elaborado pelo Banco Mundial (GOUVELLO *et al.*, 2010) que indica a conversão da vegetação nativa em uso para produção, em projeções para 2030. Tal conversão vegetativa ocorre, principalmente, nas regiões de fronteiras, na Região Amazônica; em menor escala, no Maranhão, no Piauí, no Tocantins e na Bahia. Nassar *et al.* (2010) salientam que cerca de 180 mil hectares de vegetação nativa foram convertidas de forma indireta, entre 2005 e 2008, em prol da expansão da cana-de-açúcar, principalmente no Sudeste e cerrado do Centro-Oeste e Nordeste, corroborando com os resultados da pesquisa em questão, que indicam um desmatamento indireto nessas regiões, decorrente de uma expansão na oferta de cana-de-açúcar destinada ao etanol.

No cenário de aumento da produtividade da terra destinada à cana-de-açúcar, observa-se uma diminuição nacional no desmatamento em 310 mil hectares, com melhora, principalmente, na região Nordeste. Isso indica que avanços tecnológicos que permitam ganhos em produtividade da terra diminuem, de forma expressiva, o desmatamento e atuam como mitigador das emissões diretas do uso da terra. Vale lembrar que gerar ganhos de produtividade implica em custos e que esses custos não são tratados no processo de modelagem. Segundo Gouvello *et al.* (2010), uma forma de eliminar as causas estruturais do desmatamento seria aumentar drasticamente a produtividade por hectare, tanto de culturas quanto pastagens. Os resultados encontrados na dissertação em questão, portanto, estão ao encontro da teoria por trás da proposta do Banco Central.

Tabela 8: Área de terras desmatadas, valores iniciais e após os choques (milhões de hectares)

Brasil e Macroregiões	Área inicial	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Norte	0,72	0,82	0,74	0,81	0,74	0,71
Nordeste	0,45	0,53	0,48	0,52	0,47	0,26
Sudeste	0,08	0,07	0,08	0,04	0,08	0,04
Centro-Oeste	0,40	0,37	0,40	0,40	0,40	0,36
Sul	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,02
Brasil	1,70	1,83	1,75	1,83	1,75	1,39

Fonte: Resultados da pesquisa

Na Tabela 9, encontram-se as áreas de terras destinadas à cana-de-açúcar, antes e após os choques. Como era de se esperar, observa-se um aumento da área plantada de cana em todos os choques. Nos choques que representam o cenário de expansão, CH 1 e CH 3, os aumentos de área plantada, para o Brasil, foram de 2,05 milhões de hectares e 1,76 milhões de hectares, respectivamente, condizentes com a previsão da UNICA para 2030, cuja expansão é de 2 milhões de hectares. Nesses cenários otimistas, a expansão ocorre, principalmente, nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. A região Norte é a que apresenta menor variação da área plantada de cana. O mesmo padrão de crescimento se verifica nos choques que representam os cenários de estagnação (CH 2 e CH 4). No entanto, os valores de expansão são mais modestos. Para o Brasil, por exemplo, ocorre um aumento de 400 mil hectares em CH 2 e 340 mil hectares em CH 4.

Os choques que representam a expansão da cana-de-açúcar de forma nacional (CH 1 e CH 2) deixa clara a vantagem comparativa das regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste na produção desse insumo. Os choques que representam a expansão da cana regionalmente (CH3 e CH4) captam a especialização da região Sudeste e Nordeste na produção. Já o choque de produtividade (CH 5) apresenta um modesto aumento nas áreas plantadas de cana, para o Brasil, no valor de 10 mil hectares. A variação ocorre exclusivamente na região Nordeste.

Tabela 9: Área de terras destinadas a cana-de-açúcar, inicial e após os choques (milhões de hectares)

Brasil e Macroregiões	Área inicial	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Norte	0,06	0,19	0,08	0,14	0,07	0,06
Nordeste	1,19	1,82	1,32	1,75	1,30	1,20
Sudeste	6,96	7,43	7,05	7,65	7,09	6,96
Centro-Oeste	1,96	2,50	2,06	2,24	2,02	1,96
Sul	0,70	0,98	0,75	0,85	0,73	0,70
Brasil	10,87	12,92	11,27	12,63	11,21	10,88

Fonte: Resultados da pesquisa

Uma forma de verificar se, de fato, a expansão da cana-de-açúcar ocorre sobre as áreas destinadas as culturas é analisando as variações absolutas dessas áreas após os choques. Se a

variação da área de cana for maior que a variação das áreas de culturas, podemos assumir uma conversão direta do uso da terra. Dessa forma, segue na Tabela 10 a variação absoluta das áreas de cana e áreas de cultura em todos os choques aplicados na pesquisa. Verifica-se que, de fato, as expansões das áreas de cana são maiores que as áreas de culturas, em todos os cenários, com exceção ao cenário de aumento de produtividade da terra (CH 5). Nos cenários otimistas (CH 1 e CH 3), o gap entre as variações absolutas são mais expressivos que nos cenários pessimistas (CH 2 e CH 4), principalmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul. Mas de forma geral, o efeito da expansão da cana sobre as áreas de culturas se mostraram pequenos.

Na região Sudeste, por exemplo, no choque CH 1, um aumento da demanda por cana-de-açúcar destinada ao etanol provoca um aumento da área cultivada de 0,15 milhões de hectares e um aumento da área plantada de cana-de-açúcar de 0,47 milhões de hectares. Ao subtrairmos a área de cana-de-açúcar da área de cultura, encontramos uma variação negativa de -0,33 milhões de hectares. O que indica que houve uma conversão de 0,33 milhões de hectares de terras que seriam destinadas a outras culturas, as quais passaram a ser destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar. É interessante observar essa mesma região no choque regional otimista (CH 3), cuja variação das áreas de culturas são de 0,23 milhões de hectares e das áreas de cana-de-açúcar são 0,69 milhões de hectares, apresentando o maior gap dentre todas as regiões e choques do modelo. Esse resultado, mais uma vez, é impulsionado pelo fato de a região ser a maior produtora de cana-de-açúcar e outras culturas no Brasil.

Tabela 10: Variação absoluta das áreas de cana e áreas de cultura (milhões de hectares)

Brasil e Macroregiões	CH 1		CH 2		CH 3		CH 4		CH 5	
	Cultura	Cana	Cultura	Cana	Cultura	Cana	Cultura	Cana	Cultura	Cana
Norte	0,11	0,14	0,02	0,03	0,06	0,08	0,01	0,02	-0,01	0,00
Nordeste	0,49	0,63	0,10	0,13	0,44	0,56	0,09	0,11	-0,17	0,01
Sudeste	0,15	0,47	0,03	0,09	0,23	0,69	0,05	0,13	-0,04	0,00
Centro-Oeste	0,31	0,54	0,06	0,10	0,15	0,28	0,03	0,05	-0,04	0,00
Sul	0,07	0,28	0,01	0,05	0,04	0,15	0,01	0,03	-0,03	0,00
Brasil	1,12	2,05	0,23	0,40	0,91	1,76	0,19	0,34	-0,30	0,01

Fonte: Resultados da pesquisa

A variação da área de cana-de-açúcar após um choque de expansão pode ocorrer sobre a área total de culturas, sobre as áreas de pastagens ou, até mesmo, sobre a vegetação nativa, intensificando o desmatamento. O modelo utilizado na pesquisa em questão não permite identificar qual a transição de terras que de fato ocorreu, mas permite identificar quantos hectares de terras foram convertidos, como consequência dos efeitos diretos e indiretos do

processo de conversão. Portanto, segue na Tabela 11 a comparação entre os valores absolutos da área de expansão da cana-de-açúcar, da conversão de pastagens e de desmatamento. Verifica-se, nos dois principais choques de expansão otimista da cana-de-açúcar destinada ao etanol (CH 1 e CH 3), que há uma diminuição das áreas destinadas à pastagem em, praticamente, todas as regiões do Brasil, com exceção da Norte, no cenário regional CH 3. Além disso, observa-se um aumento nacional do desmatamento, com maior intensidade nas regiões Norte e Nordeste.

Para o Brasil, por exemplo, no choque CH 1, a expansão da área de cana-de-açúcar foi de 2,05 milhões de hectares, com sacrifício de 0,13 milhões de hectares de vegetação nativa e conversão de pastagem no valor de 0,99 milhões de hectares. Esse sacrifício de vegetação nativa pode ter sido graças à conversão direta ou indireta do uso da terra. Como a soma dessas conversões não são suficientes para acomodar a expansão total da cana-de-açúcar, podemos concluir que parte do crescimento canavieiro ocorre sobre as áreas de culturas. No mesmo cenário, a região Nordeste é a que apresenta a maior queda absoluta de pastagem e é a segunda região com a maior taxa absoluta de desmatamento. Isso ocorre devido as quantidades de terras pré estabelecidos no modelo. Ou seja, para acomodar uma expansão da cana-de-açúcar de 0,63 milhões de hectares, foram necessários um aumento no desmatamento de 0,08 milhões de hectares e uma diminuição nas pastagens de 0,41 milhões de hectares. Como a soma dos hectares convertidos não satisfazem a expansão da cana-de-açúcar, podemos concluir que parte da conversão na região Nordeste ocorreu sobre as áreas de culturas, assim como verificado para o Brasil, como um todo.

Tabela 11: Variação absoluta das áreas de cana-de-açúcar, pastagem e desmatamento, nos choques otimistas, CH 1 e CH 3 (milhões de hectares)

Brasil e Macroregiões	CH 1			CH 3		
	Cana	Pastagem	Desmat.	Cana	Pastagem	Desmat.
Norte	0,14	-0,01	0,10	0,08	0,03	0,09
Nordeste	0,63	-0,41	0,08	0,56	-0,36	0,07
Sudeste	0,47	-0,16	-0,02	0,69	-0,28	-0,04
Centro-Oeste	0,54	-0,33	-0,02	0,28	-0,14	0,00
Sul	0,28	-0,07	-0,01	0,15	-0,04	0,00
Brasil	2,05	-0,99	0,13	1,76	-0,79	0,13

Fonte: Resultados da pesquisa

É interessante observar as variações da região Norte no choque de expansão regional CH 3. Para satisfazer o aumento da área cultivada de cana-de-açúcar de 0,08 milhões de hectares, houve um aumento absoluto das áreas destinadas à pastagem, no valor de 0,03

milhões de hectares, além de um aumento no desmatamento de 0,09 milhões de hectares. Ou seja, a soma das áreas convertidas foi superior às áreas necessárias para acomodar a expansão da cana-de-açúcar, o que indica que a região utiliza essas áreas para suprir a diminuição de culturas e pastagens das demais regiões.

A representação gráfica das variações absolutas das áreas de culturas, pastagem, cana-de-açúcar e desmatamento após o choque CH 1 seguem no Gráfico 3. Nessa representação, a variação da cana-de-açúcar nada mais é que a subtração das áreas de cultura pelas áreas de cana, que como visto na Tabela 10, resultam em valores negativos, indicando uma competição entre as áreas de cultura e cana-de-açúcar. Obviamente, a soma das áreas que apresentaram diminuição após o choque são exatamente o valor da área de expansão da cana, em cada região. A representação gráfica mostra que as áreas da pastagem e de culturas são as que mais cedem espaço para a expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol.

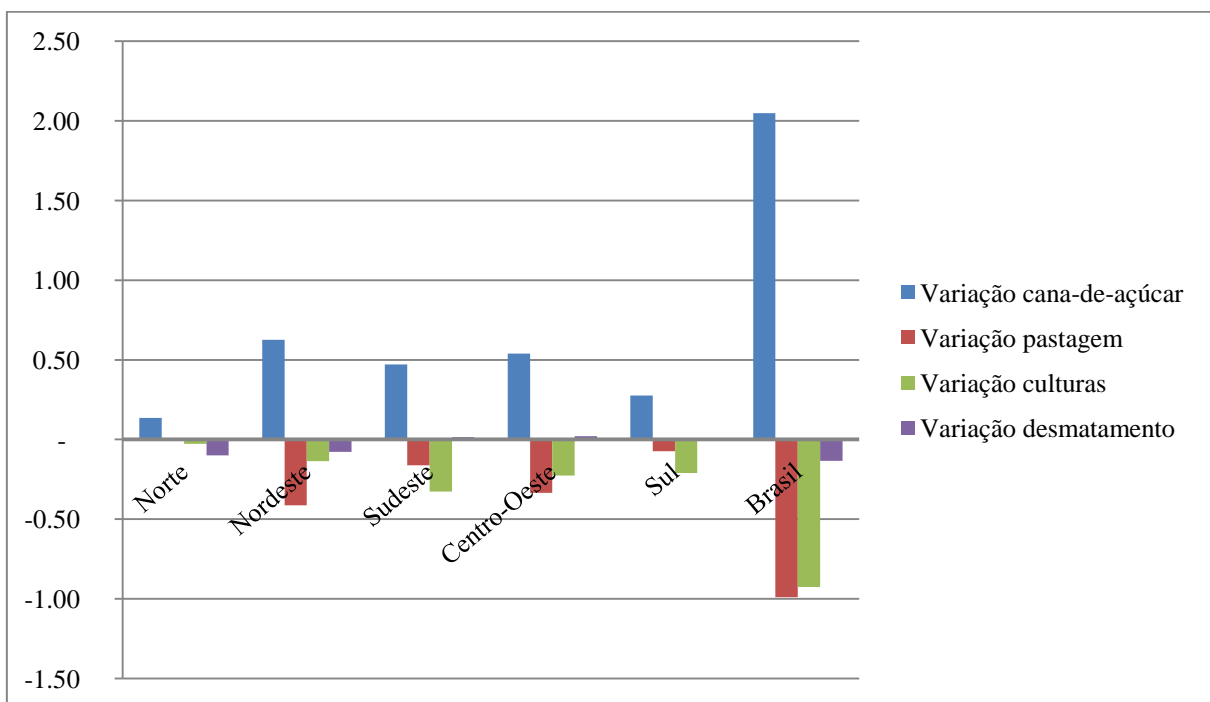


Gráfico 3: Variação absoluta das áreas de culturas, cana-de-açúcar, pastagem e desmatamento após a implementação do choque CH 1 (milhões de hectares)

Fonte: Resultados da pesquisa

4.4 Resultados das variações na produção setorial

As mudanças necessárias na produção setorial a fim de acomodar as variações na produção de cana-de-açúcar, nas regiões brasileiras, seguem abaixo. A variação da produção setorial na região Norte é apresentada na Tabela 12. Os resultados mostram um aumento na produção de praticamente todos os setores, em todos os choques de expansão da demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol. Os aumentos ocorrem, principalmente, nos setores de “Arroz (pdr)” e “Leite e derivados (rmk)”. Ou seja, um aumento na demanda de cana não estimula somente a produção desse setor (c_b), mas também a produção de todos os demais setores agrícolas na região Norte, em especial nos setores produtores de arroz e leite/derivados. Isso pode ser explicado pelo fato de a região não possuir vantagem comparativa na produção de cana. Entretanto, em compensação, essa região apresenta grande potencial de expansão agrícola e de pastagem.

À medida que a produção setorial diminui nos Estados que apresentam vantagem comparativa na produção de cana (será visto a diante a magnitude dessa diminuição), há a necessidade de expansão da produção dos setores agrícolas na região Norte, com o propósito de satisfazer a demanda nacional e internacional dos bens produzidos por esses setores. Somente o setor “Milho e outros cereais em grão (gro)” apresentou diminuição na sua produção, o que pode ser explicado pela necessidade de acomodar a expansão dos demais setores. Esse mesmo setor apresentou queda na produção em todos os cenários de expansão do biocombustível analisados por Gurgel (2011), para o Brasil, de maneira geral.

Tabela 12: Variação da produção setorial da região Norte (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	1,44	0,27	1,26	0,24	0,01
Gro	-0,39	-0,07	-0,28	-0,05	0,00
Osd	0,13	0,03	0,15	0,03	0,00
c_b	26,09	4,82	15,22	2,92	0,14
Oap	0,34	0,07	0,36	0,07	0,00
Rmk	0,85	0,16	1,07	0,20	0,00
Agr	0,36	0,07	0,41	0,08	0,00
Foo	0,11	0,02	0,11	0,02	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

As variações da produção setorial da região Nordeste seguem na Tabela 13. Verifica-se uma diminuição na produção de todos os setores, com exceção do setor de cana-de-açúcar (c_b). A diminuição é mais intensa nos cenários otimistas (CH 1 e CH 3) e nos setores de “Arroz (pdr)”, “Milho e outros cereais em grão (gro)” e “Soja e outras oleaginosas (osd)”. Portanto, um aumento na demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol provoca uma queda na produção de todos os demais setores agrícolas, em especial no setor “osd”. Isso pode ser explicado pela vantagem comparativa da região na produção de cana: regiões com vantagem comparativa na produção de um bem tendem a aumentar a produção diante de um aumento de demanda por esse bem, levando à diminuição da produção dos demais bens. Isso ocorre porque se trata de bens agrícolas, cujo principal fator produtivo, a terra, é limitado, não sendo possível acomodar a produção de todos os bens concomitantemente, a não ser que haja um aumento exógeno de produtividade. Nesse sentido, ao analisar o choque de aumento de produtividade da terra (CH 5), observa-se que, ainda sim, houve diminuição na produção dos setores agrícolas. Portanto, é necessário um aumento exógeno de produtividade maior que 2%, a fim de evitar que uma expansão da cana-de-açúcar impacte negativamente na produção de outros setores agrícolas.

Tabela 13: Variação da produção setorial da região Nordeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	-1,28	-0,24	-1,17	-0,21	-0,06
Gro	-1,61	-0,30	-1,42	-0,26	-0,05
Osd	-2,82	-0,54	-2,51	-0,46	-0,10
c_b	8,47	1,71	7,53	1,46	0,15
Oap	-0,57	-0,11	-0,49	-0,09	-0,03
Rmk	-0,65	-0,13	-0,47	-0,08	-0,02
Agr	-0,57	-0,10	-0,48	-0,08	0,01
Foo	-0,36	-0,07	-0,33	-0,06	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

A dinâmica da variação da produção setorial da região Centro-Oeste segue um padrão diferente das regiões anteriores. Como pode ser visto na Tabela 14, houve diminuição na produção da maioria dos setores (com exceção, obviamente, do setor de cana-de-açúcar), nos choques que simulam os cenários otimistas e pessimistas em nível nacional (CH 1 e CH 2). A diminuição foi mais expressiva no setor “Soja e outras oleaginosas (osd)”. Ou seja, quando se deixam as regiões acomodarem suas produções de cana-de-açúcar de acordo com suas

vantagens comparativas para atender a uma demanda de etanol a nível nacional, a expansão da cana-de-açúcar diminui a produção na maioria dos setores, o que indica que a região centro-oeste possui vantagem comparativa na produção de cana. Assim, para acomodar a expansão, tal região diminui a produção dos demais setores agrícolas, principalmente do setor de soja.

No entanto, nos choques que representam os cenários de expansão em nível regional (CH 3 e CH 4), observa-se aumento na produção da maioria dos setores, com exceção ao setor “Soja e outras oleaginosas (osd)”. Como esses choques não permitem que as regiões acomodem suas produções de cana-de-açúcar de acordo com suas vantagens comparativas - o aumento da produção de cana-de-açúcar é distribuído regionalmente, de acordo com a produção inicial, no ano base - observa-se que a diminuição da produção de soja na região pode ter ocorrido a fim de acomodar a expansão das culturas alimentares que deixaram de ser produzidas naquelas regiões que acomodaram o aumento da produção de cana, tendo vantagem comparativa na produção ou não. É interessante observar, que nesses cenários, ocorre um aumento na produção do setor de “Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr)” na ordem de 0,28%. No entanto, há uma diminuição na produção do setor “Produtos alimentares – (foo)” de 0,2%. Isso ocorre pelo fato da região Centro-Oeste ser tradicionalmente grande produtora de bens agrícolas primários, com uma produção industrial em menor escala.

Tabela 14: Variação da produção setorial da região Centro-Oeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,52	0,11	0,59	0,11	0,01
Gro	-0,11	-0,02	0,10	0,02	0,01
Osd	-0,97	-0,17	-0,60	-0,11	-0,01
c_b	33,15	6,15	17,41	3,34	-0,01
Oap	-0,18	-0,03	0,04	0,01	0,01
Rmk	-0,33	-0,05	0,22	0,04	0,01
Agr	0,03	0,01	0,28	0,05	0,00
Foo	-0,34	-0,06	-0,21	-0,04	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

As variações da produção setorial da região Sudeste seguem na Tabela 15. Assim como na região Nordeste, verifica-se diminuição na produção de quase todos os setores agrícolas, com exceção do setor produtor de cana-de-açúcar (c_b). Este cresce

aproximadamente 23% no choque CH 1 e 34% no CH 3. É interessante observar que, no Sudeste, a produção de cana cresce mais no cenário de expansão otimista em nível regional (CH 3) que em nacional (CH 1), o que não é observado nas demais regiões brasileiras. Isso ocorre porque a região Sudeste é a maior produtora de cana no ano base. Acompanhado desse crescimento, está a diminuição da produção do setor de soja (osd), de aproximadamente 1,8%. Portanto, os resultados mostram uma clara diminuição da produção nos setores agrícolas, em especial no setor de soja (osd), em prol de um aumento da produção da cana-de-açúcar, na região Sudeste. A produção dos setores “Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr)” e “Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo)” também diminuem com maior intensidade no choque CH 3.

Tabela 15: Variação produção setorial da região Sudeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	-0,02	0,00	-0,79	-0,13	0,01
Gro	-0,42	-0,07	-0,54	-0,09	0,00
Osd	-1,34	-0,24	-1,86	-0,34	0,00
c_b	23,35	4,42	34,34	6,60	0,05
Oap	-0,04	0,00	-0,23	-0,04	0,00
Rmk	0,21	0,04	0,07	0,02	0,00
Agr	-0,54	-0,10	-0,87	-0,16	0,00
Foo	-0,13	-0,02	-0,15	-0,03	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açúcar, ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

As variações da produção setorial da região Sul seguem na Tabela 16. Nos choques de expansão da cana-de-açúcar em nível nacional (CH 1 e CH 2) verifica-se aumento na produção dos setores “Cana-de-açúcar, beterraba açúcar, ind. açúcar (c_b)”, “Milho e outros cereais em grão (gro)” e “Leite e derivados (rmk)”. Os demais apresentam diminuição da produção. Já nos choques que consideram a expansão da cana regionalmente (CH 3 e CH 4), a diminuição da produção é mais significativa no setor de soja (osd). Portanto, na região Sul, o aumento da produção de cana-de-açúcar provavelmente ocorreu sobre terras utilizadas na produção de soja e produtos alimentares, diminuindo suas produções.

Tabela 16: Variação da produção setorial da região Sul (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	-0,41	-0,08	0,00	0,00	0,00
Gro	0,05	0,02	0,11	0,02	0,00
Osd	-0,97	-0,18	-0,59	-0,11	0,00
c_b	18,88	3,65	10,54	2,03	0,03
Oap	-0,14	-0,03	0,04	0,01	0,00
Rmk	0,75	0,04	0,07	0,02	0,00
Agr	-0,32	-0,06	-0,03	-0,01	0,00
Foo	-0,23	-0,04	-0,13	-0,02	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo).

4.5 Resultados das variações nos preços das commodities domésticas

Um dos objetivos da pesquisa é verificar se a expansão da cana-de-açúcar afeta o preço dos alimentos por competição. Portanto, foram analisadas as variações dos preços das commodities domésticas, dos principais setores, para as cinco macrorregiões brasileiras, após os choques simulados. Os preços aumentam praticamente em todos os setores e choques do modelo; no entanto, isso ocorre em pequena magnitude. Assim, ocorre competição entre a produção de cana-de-açúcar e a de insumos alimentares no Brasil, mas o reflexo sobre o preço desses insumos e, principalmente, sobre o preço do alimento final é, relativamente, pequeno. As variações são maiores nos cenários otimistas de expansão da cana (CH 1 e CH 3), mas na maioria dos setores, não ultrapassam 1% de variação nos preços. Nos cenários pessimistas (CH 2 e CH 4) e de aumento de produtividade da terra (CH 5), as variações são, geralmente abaixo de 0,5%. As variações dos preços setoriais, para cada macrorregião, nos cenários CH 1 e CH 3 seguem abaixo nas Tabelas 17 e 18, respectivamente. As tabelas com os resultados dos demais choques encontram-se no Apêndice B.

Observa-se na Tabela 17 que as regiões Nordeste e Sul foram as que apresentaram variações mais significativas nos preços setoriais, diante de um choque de expansão nacional de cana-de-açúcar destinada ao etanol (CH 1). Na região Nordeste, os aumentos nos preços foram maiores que 1%, nos seguintes setores: “Arroz (pdr)”; “Milho e outros cereais em grão (gro)”; “Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr)” e “Cana-de-

açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)”. O setor “Produtos alimentares (foo)” foi o que apresentou menor variação, 0,13%. Já na região Sul, o setor com maior variação nos preços foi o “c_b”, com 2,08% de aumento, seguido pelo “pdr”, com 0,95%. O setor “foo” também com a menor variação, 0,19% de aumento.

Tabela 17: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 1 (%)

Setores*	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Pdr	0,54	1,11	0,75	0,91	0,95
Gro	0,52	1,08	0,51	0,83	0,91
Osd	0,48	0,96	0,61	0,82	0,91
c_b	2,15	1,96	2,03	2,14	2,08
Oap	0,59	0,97	0,77	0,88	0,86
Rmk	0,56	0,71	0,83	0,83	0,85
Agr	0,43	1,16	0,62	0,80	0,92
Foo	0,05	0,13	0,16	0,12	0,19

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

Considerando as variações nos preços setoriais após a implementação de um choque de expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol, em nível regional (CH 3), observamos aumentos mais significativos nos preços da região Sudeste e Nordeste. Na Tabela 18, encontram-se as variações. No Sudeste, todos os setores apresentaram aumentos nos preços acima de 1%, com exceção do setor “osd” e “foo”. Este último obteve a menor variação. Já na região Nordeste, os setores “c_b”, “agr”, “pdr” e “gro” foram aqueles com maiores elevações nos preços - o setor “foo” permaneceu com a menor variação. Como esse choque não capta a vantagem comparativa das regiões na produção de cana-de-açúcar, as regiões Nordeste e Sudeste, que são tradicionalmente as maiores produtoras, tendem a ter maior impacto sobre os preços setoriais, diante de um aumento de produção de cana-de-açúcar.

Tabela 18: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 3 (%)

Setores*	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Pdr	0,46	0,99	0,58	1,01	0,70
Gro	0,45	0,96	0,41	1,05	0,66
Osd	0,41	0,85	0,46	0,96	0,67
c_b	1,40	1,74	1,22	2,96	1,34
Oap	0,51	0,86	0,58	1,07	0,64
Rmk	0,50	0,64	0,64	1,06	0,63
Agr	0,37	1,04	0,49	1,02	0,68
Foo	0,04	0,12	0,12	0,13	0,14

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

Portanto, um aumento de oferta de cana-de-açúcar destinada ao etanol, em um cenário de expansão otimista, tanto nacional quanto regional, além de aumentar o preço do setor de cana-de-açúcar destinada à produção de açúcar, aumenta o preço das outras culturas e produtos agropecuários. No entanto, tal fato não provoca aumentos relevantes nos preços do alimento final (setor “Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco - foo”). Isso pode estar relacionado com o fato de os preços desse setor absorverem pouco o aumento do preço de suas matérias primas, uma vez que o valor final dos alimentos é composto por vários outros insumos e pelo valor adicionado, não apenas pelo insumo agropecuário.

Por fim, o setor “Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)” foi único o que apresentou variações consideráveis nos seus preços, em todas as regiões. Como a cana-de-açúcar é o único insumo produtivo do etanol de primeira geração, considerado no modelo, é de se esperar que um aumento na demanda, por esse bem inelástico, provoque aumento nos seus preços. Consequentemente, a cana-de-açúcar destinada à produção de açúcar e alimentos também sofre aumentos de preços. No choque de aumento de produtividade da terra destinada à cana-de-açúcar (CH 5), que se encontra na Tabela 25 do Apêndice B, ocorre uma diminuição dos preços do setor “Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)” em todas as regiões. Como o aumento da produtividade da terra reduz a necessidade de área para a produção, a tendência é que ocorra uma diminuição dos preços desse setor.

4.6 Resultado das variações na remuneração dos fatores primários de produção

A variação da remuneração dos fatores primários de produção, para cada macrorregião do Brasil, segue na Tabela 26, no Apêndice B. Observa-se um aumento da remuneração do fator terra em todos os choques de aumento de demanda e todas as macrorregiões do Brasil. Portanto, verifica-se que um aumento da demanda da cana-de-açúcar destinada ao etanol, tanto nos cenários otimistas quanto pessimistas, impactam de forma considerável no valor das terras. Esses impactos são maiores nos cenários otimistas e nas regiões Nordeste e Sul. Os fatores capital e trabalho ficam ligeiramente mais baratos, uma vez que a demanda por eles aumenta muito menos do que a demanda por terra. Por fim, no cenário de aumento de produtividade da terra (CH 5), não ocorrem variações substanciais na remuneração do fator capital e trabalho. Já a remuneração do fator terra diminuiu, uma vez que o choque de aumento da produtividade deste fator no setor de cana-de-açúcar diminui a necessidade do mesmo.

4.7 Resultados das variações na produtividade da terra

A produtividade das terras utilizadas em cada setor sofre alterações a fim de absorver a expansão da cana-de-açúcar. Essa mudança em produtividade é possível pela substituição de fatores primários (capital e trabalho) pelo fator terra, nas funções de produção do modelo. Seguem, nas Tabelas 27 á 31, no Apêndice B, as variações da produtividade da terra em cada setor e região brasileira. Verifica-se um ganho de produtividade em todos os setores e regiões, após a implementação de todos os choques, uma vez que o aumento do preço da terra induz à substituição desse fator por capital e trabalho. O aumento de produtividade é maior nos cenários otimistas (CH 1 e CH 3) e no setor “Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)”. Neste setor em questão, considerando o choque CH 1, o aumento da produtividade é maior na região Norte, aproximadamente 1,99%. Este aumento é condizente com o esperado pela UNICA, para todo o Brasil, nas suas projeções com cenário otimista de expansão da cana. A variação na produtividade do setor c_b para a região Nordeste é a menor, 1,58%.

A produtividade da terra dos demais setores (pdr; gro; osd; oap; rmk e agr), na região Norte e Centro-Oeste, no choque CH 1, aumenta de forma menos expressiva que o setor c_b, em torno de 0,45%. Na região Sudeste, o aumento é, em média, de 0,5% ,e da região Sul, 0,6%. A região Nordeste é a que apresenta maiores variação da produtividade da terra nos setores produtores de insumos alimentares, em média, 0,9%. Ou seja, uma maior demanda de

cana-de-açúcar destinada ao etanol, além de aumentar a produtividade da terra destinada á cana, aumenta a produtividade da terra dos demais setores produtores de insumos agrícolas voltados para a alimentação. Esse aumento ocorre em todas as regiões, mas com maior intensidade no Nordeste (MAPIBA).

4.8 Análise de sensibilidade

A representação das mudanças no uso da terra e da expansão da fronteira agrícola na modelagem de equilíbrio geral requer o uso de pressuposições e parâmetros econômicos, muitas vezes passíveis de questionamento (GURGEL *et al.*, 2011). Portanto, a fim de verificar se os resultados simulados na pesquisa são robustos, e como eles são afetados pelas pressuposições adotadas, foram realizados seis testes de sensibilidade. A descrição destes testes segue no Quadro 5. Os resultados analisados foram os de variação absoluta de áreas desmatadas e variação nos preços do setor “Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo)” no cenário de expansão nacional da cana-de-açúcar destinada ao etanol (CH 1), em todas as macrorregiões brasileiras.

Quadro 5: Descrição dos testes de análise de sensibilidade

Análise de sensibilidade	Descrição dos testes
AS 1	Aumento em 50% da área disponível para conversão
AS 2	Redução em 50% da área disponível para conversão
AS 3	Aumento de 100% na elasticidade de comércio entre as regiões
AS 4	Redução de 50% na elasticidade de comércio entre as regiões
AS 5	Redução de 50% nas elasticidades renda do consumo de alimentos
AS 6	Elasticidade renda unitária

Nos testes AS 1 e AS 2, procurou-se analisar a sensibilidade da função de custo de conversão empregada na pesquisa. Para isso, foram implementados dois choques sobre as áreas naturais disponíveis para conversão. Essas áreas afetam por completo o custo de conversão. Quanto maior a área a ser convertida, menor o custo de conversão, induzindo e uma maior conversão, e vice-versa. O primeiro choque simulou um aumento de 50% das áreas disponíveis e o segundo uma diminuição de 50%. Nos testes de sensibilidade AS 3 e AS 4, procurou-se analisar a sensibilidade das elasticidades de comércio entre as regiões. Em AS 3, permitiu-se que as elasticidades de comércio dobrassem em relação àquela empregada na

pesquisa e, em AS 4, as elasticidades foram reduzidas pela metade. Por fim, nos testes AS 5 e AS 6, procurou-se analisar a sensibilidade da elasticidade-renda do consumo de alimentos. Em AS 5, as elasticidades foram reduzidas pela metade e, em AS 6, foi implementada a elasticidade-renda padrão igual a um, ou seja, foi adotada uma função não homotética.

Os resultados da variação absoluta do desmatamento seguem na Tabela 19 e indicam que ao considerarmos um aumento de 50% das áreas aptas à conversão, em um choque de expansão da cana-de-açúcar, ocorre um aumento das áreas desmatadas em todo o Brasil, de forma concentrada nas regiões Norte e Nordeste, assim como no choque de expansão CH 1. Se considerarmos uma redução de 50% das áreas passíveis a conversão, também ocorre um aumento do desmatamento em todo o Brasil, de forma concentrada nas regiões Norte e Nordeste. No entanto, nestas regiões, isso ocorre em menor magnitude. Portanto, os resultados da análise de sensibilidade do custo de conversão revelam que o modelo é bastante sensível à quantidade de área disponível para conversão. Quanto maior a área disponível, mais áreas são desmatadas, a fim de acomodar uma expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol.

Tabela 19: Variação absoluta do desmatamento após a implementação do choque de expansão CH 1 e de choques sob pressupostos e parâmetros alternativos (milhão de hectares)

		Custo de conversão		Elasticidade de comércio		Elasticidade renda consumo	
Brasil e macrorregiões	CH 1	AS 1	AS 2	AS 3	AS 4	AS 5	AS 6
Norte	0.10	0.15	0.05	0.08	0.11	0.35	0.09
Nordeste	0.08	0.12	0.03	0.07	0.08	-0.31	0.07
Sudeste	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02
Centro-Oeste	-0.02	-0.01	-0.03	-0.02	-0.02	-1.86	-0.02
Sul	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
Brasil	0.13	0.24	0.02	0.10	0.15	-1.85	0.12

Fonte: Resultados da pesquisa

A variação absoluta de áreas desmatadas se mostrou robusta e menos sensível em relação às elasticidades de comércio entre as regiões. Em um cenário de expansão da cana-de-açúcar com elasticidades de comércio dobradas, ou reduzidas pela metade, as áreas desmatadas permanecem praticamente inalteradas, diferentemente da simulação que considera o dobro de elasticidade-renda de consumo por alimento (AS 5). Nesse teste, as áreas desmatadas seguiram um padrão totalmente diferente daquele apresentado no choque CH 1, variando em magnitude e direção. Por exemplo, as áreas desmatadas para o Brasil diminuíram em 1,85 milhões de hectares em um cenário de expansão da cana-de-açúcar com elasticidades-renda de consumo reduzida pela metade. Assim, a variável de desmatamento se

mostrou bastante sensível às elasticidades-renda de consumo por alimentos, utilizadas na pesquisa. Quando se considera função homotética na análise, teste AS 5, as variações absolutas das áreas desmatadas não são muito diferentes de CH 1. Desse modo, o modelo se mostra sensível às elasticidades-renda de consumo somente quando a função de demanda utilizada é do tipo não-homotética.

As variações nos preços do setor de alimentos (foo) seguem na Tabela 20. Os preços do setor variam pouco nos testes com aumento e diminuição das áreas aptas a conversão (AS 1 e AS 2), quando comparado com o choque de expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol (CH 1). Portanto, a variável é robusta e pouco sensível às alterações no custo de conversão, em um cenário de expansão da cana. Ou seja, os preços dos alimentos dependem pouco das pressuposições em relação ao custo de conversão da terra. Em relação aos testes que simulam aumentos e diminuição na elasticidade de comércio entre as regiões (AS 3 e AS 4), observam-se variações nos preços do setor de alimentos. Um choque de expansão da cana-de-açúcar destinado ao etanol provoca variações um pouco mais significativas nos preços dos alimentos quando a elasticidade de comércio entre as regiões é reduzido pela metade. Quando as elasticidades são dobradas, as variações nos preços do setor são menores que em CH 1. As variações, em ambos os casos, seguem o mesmo padrão regional que observado em CH 1. Portanto, os preços do setor “foo” são sensíveis às elasticidades de comércio regional.

Tabela 20: Variação nos preços do setor de alimentos (foo) após a implementação do choque de expansão CH 1 e de choques sob pressupostos e parâmetros alternativos (%)

		Custo de conversão		Elasticidade de comércio		Elasticidade renda consumo	
Macrorregiões	CH 1	AS 1	AS 2	AS 3	AS 4	AS 5	AS 6
Norte	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	-0.41	0.04
Nordeste	0.13	0.13	0.13	0.09	0.19	1.75	0.11
Sudeste	0.12	0.12	0.13	0.09	0.16	-0.67	0.10
Centro-Oeste	0.16	0.16	0.17	0.12	0.21	-2.33	0.14
Sul	0.19	0.19	0.19	0.13	0.26	0.86	0.16

Fonte: Resultados da pesquisa

Por fim, as variações nos preços do setor “foo” se mostraram bastante sensíveis às elasticidades-renda de consumo por alimentos. Quando essa elasticidade é reduzida pela metade, os preços dos setores variam em magnitude e em direção, quando comparado com CH 1. Já quando a função homotética é considerada, as variações nos preços são pouco diferentes daquelas observadas em CH 1, indicando, mais uma vez, que o modelo, além de ser sensível à elasticidade-renda utilizada, é sensível ao tipo de função de demanda empregada.

5 CONCLUSÕES

O principal objetivo desta dissertação foi projetar o impacto de um aumento da demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol sobre o uso da terra e sobre a produção de alimentos no Brasil, em cenários de expansão e estagnação da produção. Para tornar a análise factível, alguns aprimoramentos no modelo Projeto de Análise de Equilíbrio Geral (PAEG) foram efetuados. Uma das modificações no modelo foi a incorporação de um módulo de uso da terra e um custo de conversão entre os diferentes tipos de terras, abordado explicitamente, permitindo capturar as mudanças diretas e indiretas do uso da terra decorrente de uma expansão da cana-de-açúcar destinada ao etanol. Outra modificação foi na representação da demanda final do agregado familiar por alimento, dada a necessidade de considerar a heterogeneidade na intensidade do uso do fator terra associado aos diferentes componentes da demanda.

Os resultados sugerem que a grande disponibilidade de terras aptas à conversão no Brasil, seja pela existência de extensas áreas de pastagens ou pela imensa área de cobertura vegetal, permite acomodar o crescimento da cultura da cana-de-açúcar projetado para o ano de 2030. Isso ocorreria às custas das áreas de culturas e pastagens, principalmente. O impacto sobre o desmatamento é relativamente pequeno. A diminuição das áreas de culturas, não parece impactar expressivamente sobre o preço dos insumos alimentares e sobre o preço do alimento final, assim como verificado por Ferreira Filho e Horridge (2014). A produção dos insumos alimentares se acomodariam entre as regiões, ou seja, em algumas regiões brasileiras haveria diminuição na produção setorial de alimentos e seus insumos, mas em outras regiões haveria aumento na produção desses setores.

Em todos os choques de aumento da oferta de cana-de-açúcar destinada ao etanol, tanto nos cenários expansão quanto estagnação, os resultados indicaram aumento das áreas de terras destinadas não somente à cana-de-açúcar, mas também às demais culturas. Esse aumento ocorreu em todas as regiões do Brasil, de forma mais acentuada no Nordeste. O crescimento das áreas destinadas à cana-de-açúcar ocorreria, principalmente, nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Estas regiões apresentaram vantagem comparativa na produção canavieira. Em todos os choques e regiões foi observada diminuição das pastagens, de forma mais acentuada nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste. A exceção foi da região Norte, no choque regional de expansão otimista. O Brasil, de maneira geral, apresentou

piora no desmatamento em todos os choques, de forma mais acentuada nas regiões Norte e Nordeste.

Como as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste são tradicionalmente conhecidas como abundantes em pastagens, a diminuição dessas áreas pode estar relacionada com a conversão direta e indireta do uso da terra em prol do aumento da produção de cana. Já o aumento da pastagem na região Norte no choque regional de expansão pode ser justificado pela diminuição das pastagens nas demais regiões. Uma vez que as demandas por alimentos, como leite e carne, não são alteradas na aplicação do choque, é esperado que ocorra uma competição pelo uso da terra entre os diferentes usos, com possível conversão indireta do uso da terra diferenciada entre regiões, a fim de acomodar as necessidades por alimentos. A piora no desmatamento nas regiões Norte e Nordeste, por sua vez, está condizente com os estudos que indicam que a conversão da vegetação nativa em uso para produção ocorrerá, em maior escala nas regiões de fronteiras, na Região Amazônica, e em menor escala no Maranhão, no Piauí, no Tocantins e na Bahia (GOUVELLO *et al.*, 2010).

Ao verificar se a expansão da cana-de-açúcar ocorre sobre as áreas destinada às culturas, ou seja, se ocorre uma conversão direta do uso da terra, constata-se que, de fato, as expansões das áreas de cana são maiores que as áreas de culturas, em todos os cenários, principalmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul. Além disso, a diminuição das pastagens e aumento do desmatamento, em quase todas as regiões, não são suficientes para satisfazer a expansão da cana-de-açúcar, permitindo concluir que parte da conversão ocorre sobre as áreas de culturas. Somente na região Norte se verifica o inverso. Nessa região, a soma das áreas convertidas foram superiores às áreas necessárias para acomodar a expansão da cana-de-açúcar, o que indica que a região utiliza essas áreas para suprir a diminuição de culturas e pastagens das demais regiões.

Esses resultados são condizentes com o terceiro cenário de expansão dos biocombustíveis estimado por Gurgel (2011), em que todas as categorias de uso da terra, incluindo florestas, apresentam reduções em suas áreas para a produção de culturas, no Brasil. Os resultados também são corroborados por Rivero *et al.* (2009), que acreditam que o desmatamento no Brasil é fortemente correlacionado com a pecuária, uma vez que existe um baixo custo de transporte, uma alta produtividade da pecuária e preços das terras relativamente baixos na região da Amazônia. Em contra partida, Kohlhepp (2010) defende que a conversão de floresta em pastagem no Brasil não tende a ocorrer, visto que o número de gado por área pode ser aumentado facilmente com o melhoramento dos pastos. Ademais, a

floresta tropical brasileira seria climaticamente desfavorável a pastagens, além do fato de ainda existirem muitos hectares de cerrado a serem utilizados.

Desse modo, vale destacar que, no modelo utilizado nessa dissertação, as mudanças no uso da terra são consequência apenas dos choques simulados de aumentos na produção de cana-de-açúcar destinada ao etanol, ou seja, não captam nenhum outro efeito ou tendência observada nas economias das regiões nos últimos anos, tampouco captam as variações climáticas. Além disso, na região Nordeste, são permitidas expansão e conversão de áreas somente nos Estados do Maranhão, Piauí e Bahia (MAPIBA).

Em relação às mudanças necessárias na produção setorial para acomodar as variações na produção de cana-de-açúcar, os resultados mostraram diferentes comportamentos para todas as regiões brasileiras. Na região Norte, houve um aumento na produção de, praticamente, todos os setores, em todos os choques de expansão da demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol. Os aumentos ocorrem principalmente nos setores de “Arroz (pdr)” e “Leite e derivados (rmk)”. Já na região Nordeste ocorreu uma diminuição na produção de todos os setores, com exceção, do setor de “cana-de-açúcar (c_b)”. A diminuição é mais intensa nos setores de “Arroz (pdr)”, “Milho e outros cereais em grão (gro)” e “Soja e outras oleaginosas (osd)”. Assim, um aumento na demanda de cana-de-açúcar destinada ao etanol provoca diminuição na produção dos setores de insumos alimentares em algumas regiões e aumento em outras regiões. Esse comportamento pode ser explicado pela vantagem comparativa de algumas regiões na produção de cana. Essas regiões, com vantagem comparativa, tendem a aumentar a produção do setor de cana e diminuir a produção dos demais setores. As regiões com menor vantagem comparativa na produção de cana tendem a acomodar a produção dos insumos alimentares, com o intuito de satisfazer a demanda nacional e internacional desses bens.

Em relação ao aumento dos preços dos alimentos após uma expansão da cana-de-açúcar, os resultados indicaram aumento em praticamente todos os setores e choques do modelo. No entanto, isso aconteceu em pequena magnitude. As regiões mais impactadas variam de acordo com o tipo de choque. Nos choques de expansão nacional, as regiões Nordeste e Sul foram as que apresentaram variações mais significativas nos preços setoriais. Já nos choques de expansão regional, as regiões mais impactadas foram o Nordeste e Sudeste, uma vez que essas regiões são tradicionalmente as maiores produtoras canavieiras. Todavia, os resultados não apresentaram aumentos significativos nos preços do alimento final (setor “Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco - foo”), o que está

relacionado ao fato dos preços desse setor absorver pouco o aumento dos preços de suas matérias primas.

Os resultados do choque que simula um aumento da produtividade da terra destinada à cana-de-açúcar indicam que um aumento de 2% de produtividade provoca um acréscimo modesto nas áreas plantadas de cana, de forma concentrada na região Nordeste. Há também uma queda nas áreas destinadas às culturas, também de forma mais acentuada no Nordeste. Além disso, não se obteve nenhuma variação significativa nas áreas de pastagem. Em relação ao desmatamento, ocorre uma diminuição nacional de 310 mil hectares, com melhora principalmente na região Nordeste. Portanto, verifica-se que um aumento pequeno na produtividade da terra utilizada na produção de cana provoca um efeito poupa-terra. Tal fato indica que ganhos de produtividade na terra destinada à cana-de-açúcar poderia acomodar o cenário de expansão sem pressão por competição de terras. Também concluiu-se que avanços tecnológicos que permitam ganhos em produtividade da terra diminuem o desmatamento e atuam como mitigador das emissões diretas do uso da terra.

A análise de sensibilidade indica que os resultados de variação de uso da terra encontrados na pesquisa são sensíveis aos pressupostos considerados sobre o custo de conversão da terra e as elasticidades-renda de consumo por alimentos empregados. Desse modo, tais resultados devem ser interpretados com cautela, assim como os resultados de variação nos preços dos alimentos, que também se mostraram robustas em relação ao custo de conversão, sensíveis às elasticidades renda de consumo por alimentos e às elasticidades de comércio entre as regiões.

Por fim, acredita-se que uma análise minuciosa dos padrões de mudança de uso da terra, e a capacidade de projetar essas mudanças, é necessária para o planejamento regional e para a formulação de políticas de desenvolvimento do uso da terra. A formulação aqui desenvolvida pode servir como instrumento de representação das possibilidades de expansão da cultura da cana-de-açúcar destinada ao etanol dentre as regiões brasileiras. Ademais segue a racionalidade econômica de permitir a conversão primeiramente das áreas de menor custo e facilidade de acesso, de acordo com a ideia ricardiana do uso da terra. Além disso, captura os diferentes custos de conversão das macrorregiões brasileiras e os preços de áreas de uso agropecuário e de vegetação natural.

No entanto, o modelo não leva em conta outros fatores que podem afetar a dinâmica das mudanças no uso da terra, como aspectos socioculturais, políticas públicas e pressões internacionais. Também, sendo o modelo estático, não há evolução na produção dos demais insumos agropecuários e fatores produtivos. Como observado por Gurgel (2007), em uma

economia dinâmica, o crescimento da população, o acúmulo de capital e o investimento em setores lucrativos em expansão poderiam atenuar ou mesmo reverter a queda na produção de alguns setores agrícolas, aumentando a demanda pelo fator terra e a pressão sobre a expansão da fronteira agrícola. Além disso, em um modelo dinâmico seria possível considerar o crescimento da produtividade da terra, o que poderia contrabalancear a necessidade de desmatamento das áreas de vegetação nativas.

Assim, a sugestão para os estudos futuros é acrescentar aspectos dinâmicos de expansão dos fatores produtivos, incrementos na produtividade agrícola e oportunidades de investimento nas economias, além de considerar o aumento na demanda de outros produtos agrícolas, não somente dos insumos energéticos. É importante também conseguir mensurar os efeitos do crescimento dos insumos energéticos sobre as mudanças na agricultura e no uso da terra, não somente no Brasil, mas também nas demais regiões do mundo. Ademais, é preciso tentar incorporar a utilização dos insumos dos biocombustíveis de segunda geração no processo de modelagem e nas análises.

REFERÊNCIAS

- Acomp. safra bras. cana, v. 2 - Safra 2015/16, n. 4 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-76, abril 2016.
- ATEHORTÚA, E. F. H. Modelling consumer behaviour: a comparison between aids and the stone-gearly models. **Ensayos de Economía**, v. 7, n. 11, p. 135-146, 1996.
- ARROW, J. K.; DEBREU, G. The existência of an equilibrium for a competitive economy. **Econometrica**, v. 22, n. 3, p. 265-290, 1954.
- BABCOCK, B. A.. Measuring unmeasurable land-use changes from biofuels. **Iowa Ag Review**, v. 15, n. 3, p. 4-11, 2009.
- BAKER, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape ecology**, v. 2, n. 2, p. 111-133, 1989.
- BANSE, M., VAN MEIJL, H., TABEAU, A., WOLTJER, G. Will EU biofuel policies affect global agricultural markets?. **European Review of Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 117-141, 2008.
- BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, v. 149, n. 102, p. 168, 28 maio, 2012. Seção 1. pt. 1.
- BURNIAUX, J.M. Incorporating carbon sequestration into CGE models: a prototype GTAP model with land use. **West Lafayette: Center for Global Trade Analysis**, 2002. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1219.pdf>>.
- CARVALHO, T. S. **Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas**. (Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais, 2014

CATTANEO, A. Deforestation in the Brazilian Amazon: Comparing the impacts of Macroeconomics Shocks, Land Tenure, and Technological Change. **Land Economics**, vol. 77, n.2, p. 219-140, 2001.

CHAKRAVORTY, U., HUBERT, M., MOREAUX, M., NOSTBAKKEN, L.. The long run impact of biofuels on food prices. Typescript. University of Alberta and Tufts University, 2012.

CHAKRAVORTY, U., HUBERT, M. H., MOREAUX, M., NOSTBAKKEN, L. Impacts of Us and EU biofuels targets on food production and carbon emissions: Insights from a Hotelling–Ricardian model. Department of Marketing, Business Economics and Law, University of Alberta, Canada, 2009.

CHEN, Y. H.; S. PALTSEV, S.; REILLY, J.M.; MORRIS, J.F.; BABIKE, .H. The MIT EPPA6 Model: Economic Growth, Energy Use, and Food Consumption. **MIT Joint Program Report 278**. Cambridge, MA, 2015.

DARWIN, R.; TSIGAS, M.; LEWANDROWSKI, J.; RANESES, A. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. United States Department of Agriculture, **Economic Research Service**. Nº 33933, 1995.

DEBREU, G. Theory of value: An axiomatic analysis of economic equilibrium. **Yale University Press**, No. 17, 1959.

DEBREU, GERARD. The coefficient of resource utilization. *Econometrica*; **Journal of the Econometric Society**, v. 19, n. 3, p. 273- 292, 1951.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. **Texto para Discussão nº 340, Cedeplar/FACE/UFMG**, Belo Horizonte, 2008.

EMBRAPA. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil. 2008. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>>.

FARGIONE, J.; HILL, J; TILMAN, D; POLASKY, S; HAWTHORNE, P. Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science**, v. 319, n.5867, p.1235–1238, 2008^a

FARIA, W. R. **Modelagem e Avaliação de Fenômenos Relacionados ao Uso da Terra no Brasil**. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Outlook Fiesp 2026: projeções para o agronegócio brasileiro / Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. — São Paulo: FIESP, 2016.

FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, J. M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, vol. 36, p. 595-604, 2014.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAOSTAT, FAO Statistical Database. <http://faostat.fao.org>, 2013.

GAZZONI, D.L. O impacto do uso da terra na sustentabilidade dos biocombustíveis. Documentos. **Embrapa Soja**. N. 347. 2014. 80p.

GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT – GTAP, 2001. Disponível em: <http://www.agecon.purdue.edu/gtap/>

GOUEL, C; HERTEL, T. Introducing forest access cost functions into a general equilibrium model. **GTAP Working Research Memorandum**, n. 8, 2006.

GOUVELLO, C.. Estudo de baixo carbono para o Brasil. Brasília: Banco Mundial, 2010.

GURGEL, A.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. Potential Land Use Implications of a Global Biofuels Industry. Report nº 155, **MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change**, Cambridge, 2008.

GURGEL, A. C. Impactos da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. In **Anais do 37º Encontro Nacional de Economia**, Foz do Iguaçu. ANPEC, 2009.

GURGEL, A. C. Impacto da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49(1), p. 181-124, 2011.

GURGEL, A., CRONIN, T., REILLY, J., PALTSEV, S., KICKLIGHTER, D., MELILLO, J. Food, fuel, forests, and the pricing of ecosystem services. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 93, n. 2, p. 342-348, 2011.

GURGEL, A. C.; PEREIRA, M.W.G.; TEIXEIRA, E.C. A estrutura do PAEG. **PAEG Technical Paper**, n. 1, 2014.

GURGEL, A., HENRY CHEN, Y. H., PALTSEV, S., REILLY, J. **CGE Models: Linking Natural Resources to the CGE Framework**. In: world scientific reference on natural resources and environmental policy in the era of global change: Volume 3: Computable General Equilibrium Models. 2016. p. 57-98.

HADDAD, E. A. Interregional computable general equilibrium models. In: G.J.D. Hewings and M. Sonis, eds. **Reassessment of regional science theories**. Berlin: Springer-Verlag, 2004.

HAQUE, M. O. Income elasticity and economic development: Methods and applications. **Springer Science & Business Media**, 2006

HAVLÍK, P., SCHNEIDER, U. A., SCHMID, E., BÖTTCHER, H., FRITZ, S., SKALSKÝ, R., LEDUC, S. Global land-use implications of first and second generation biofuel targets. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 5690-5702, 2011.

HAVLÍK, P., VALIN, H., MOSNIER, A., OBERSTEINER, M., BAKER, J. S., HERRERO, M., SCHMID, E. Crop productivity and the global livestock sector: Implications for land use change and greenhouse gas emissions. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 95, n. 2, p. 442-448, 2013.

HERTEL, T. W.; TYNER, W. E.; BIRUR, D. K. The Global Impacts of Biofuel Mandates. **The Energy Journal**, vol. 31, n.1, p. 75-100, 2010.

HERTEL, T. Global trade analysis: modeling and applications. Cambridge and New York: Cambridge University Press, UK, 1997, apud HERTEL, T. W.; TYNER, W. E.; BIRUR, D. K. The Global Impacts of Biofuel Mandates. **The Energy Journal**, vol. 31, n.1, p. 75-100, 2010.

HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; TIMILSINA, G. R.; ZILBERMAN, D. The Role of Inventory Adjustments in Quantifying Factors Causing Food Price Inflation. **World Bank Policy Research Working Paper Series**, 2011.

HOFFMANN, R. Segurança alimentar e produção de etanol no Brasil. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 13, n. 2, p. 1-5, 2006.

HORRIGDE, M. Preparing a TERM bottom-up regional database. Preliminary Draft, Centre of Policy Studies, Monash University, 2006.

JOHANSEN, L. A multi-sectoral study of economic growth. Amsterdam: North-Holland, 1960, apud FARIA, W. R. Modelagem e Avaliação de Fenômenos Relacionados ao Uso da Terra no Brasil. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estud. av.**, São Paulo, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

LAPOLA, D. M., SCHALDACH, R., ALCAMO, J., BONDEAU, A., KOCH, J., KOELKING, C., PRIESS, J. A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 107, n. 8, p. 3388-3393, 2010.

LENZ, M.H. A categoria econômica renda da terra. Porto Alegre. Ensaio FEE. 1981.

MACEDO, I. de C. (Org.) Sugar cane's energy. Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability. São Paulo: s. n, 2005.

MARKUSEN, J. Extension of the Simple Model. University of Colorado, Boulder. 2006.

Disponível em:

<http://spot.colorado.edu/~markusen/teaching_files/applied_general_equilibrium/GAMS/ch2.pdf>.

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

MORAES, G. I. **Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo geral computável**. Piracicaba, 2010. 267 p.

(Tese de Doutorado em Economia Aplicada). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, 2010

NASSAR, A. M., *et al.* Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: ZUURBIER, P. e VOOREN, J. V. (Org.). Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. Laxenburg: Wageniguen **Academic Publishers**, 2008. p. 63-94.

NASSAR, A. M., ANTONIAZZI, L. B., MOREIRA, M. R., CHIODI, L., HARFUCH, L. Contribuição do Setor Sucroalcooleiro para a Matriz Energética e para a Mitigação de Gases do Efeito Estufa no Brasil. 2010.

OECD STAT. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024. Disponível em: http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2015&lang=en Acesso em: 02 fev 2016.

REYDON, B. P. E.; CORNELIO, F. N. M. Mercados de terras no Brasil: estrutura e dinâmica. **Nead Debate**, n.7. Brasília: MDA/NEAD, 2006.

RICARDO, D. **Princípios de economia política e tributação**. São Paulo: Abril Cultural, 1982. 286 p. (Série Os Economistas).

RIVERO, S., ALMEIDA, O., ÁVILA, S., & OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. In: **Nova Economia**, Belo Horizonte, n. 19, p. 41-66, 2009.

ROSEGRANT, M.W. Biofuels and grain prices: impacts and policy responses. Testimony for the US Senate Committee on homeland security and governmental affairs. Washington, DC: **International Food Policy Research Institute**, < [www. ifpril.org](http://www.ifpril.org)>, 2008.

ROSEGRANT, M. W., ZHU T., MSANGI S., SULSER T. Global scenarios for biofuels: impacts and implications. **Rev. Agric. Econ.** 30, 495–505, 2008.

RUTHERFORD, T. F. GTAP6inGAMS: The dataset and static model. p.42, 2005.
<<http://www.mpsge.org/gtap6/gtap6gams.pdf>>

- RUTHERFORD, T. F., PALTSEV, S. V. GTAPinGAMS and GTAP-EG: global datasets for economic research and illustrative models. **Working Paper, Department of Economics, University of Colorado**, p.64, 2000.
- SEARCHINGER, T., HEIMLICH, R., HOUGHTON, R. A., DONG, F., ELOBEID, A., FABIOSA, J., YU, T. H. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1238-1240, 2008.
- SCHMITZ, C., VAN MEIJL, H., KYLE, P., NELSON, G. C., FUJIMORI, S., GURGEL, A., SANDS, R. Land-use change trajectories up to 2050: insights from a global agro-economic model comparison. **Agricultural Economics**, v. 45, n. 1, p. 69-84, 2014.
- SCARF, H. The Approximation Of Fixed Points Of A Continuous Mapping. *SIAM Journal of Applied Mathematics*, v. 15, n. 5, p.1328-1343, 1967, apud FARIA, W. R. Modelagem e Avaliação de Fenômenos Relacionados ao Uso da Terra no Brasil. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.
- TILMAN, D., FARGIONE, J., WOLFF, B., D'ANTONIO, C., DOBSON, A., HOWARTH, R., SWACKHAMER, D. Forecasting agriculturally driven global environmental change. **Science**, v. 292, n. 5515, p. 281-284, 2001.
- TIMILSINA, G. R.; SHRESTHA, A. Biofuels: Markets, Targets and Impacts. **World Bank Policy Research Working Paper**, WPS 5364, 2010.
- União da Agroindústria do Açúcar e do Álcool do Estado de São Paulo – UNICA.
www.unica.com.br/.
- VAN MEIJL, H. VAN RHEENEN, T.; TABEAU, A.; EICKHOUT, B. The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 114, n.1, p. 21-38, 2006.
- WING, I.S. Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis. **MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Technical Note 6**, Cambridge, Massachusetts, 2004.

WALSH, M. E.; DANIEL, G.; SHAPOURI, H.; SLINSKY, S. P. Bioenergy Crop Production in the United States: Potential Quantities, Land Use Changes, and Economic Impacts on the Agricultural Sector. **Environmental and Resource Economics**, v. 24, n.4, p. 313-333, 2003.

ZHOU, Z., TIAN, W., WANG, J., LIU, H., & CAO, L. Food consumption trends in China. Australian Government Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra, 2012.

APÊNDICE A

Quadro 6: Agregação entre regiões e setores para o PAEG

Regiões	Atividades
1- Brasil-região Norte (NOR)	1- Arroz (pdr)
2- Brasil-região Nordeste (NDE)	2- Milho e outros cereais em grão (gro)
3- Brasil-região Centro-Oeste (COE)	3- Soja e outras oleaginosas (osd)
4- Brasil-região Sudeste (SUD)	4- Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b)
5- Brasil-região Sul (SUL)	5- Carnes e animais vivos (oap)
6- Resto do Mercosul (MER)	6- Leite e derivados (rmk)
7- Estados Unidos (USA)	7- Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr)
8- Resto do Nafta (NAF)	8- Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo)
9- Resto da América (ROA)	9- Indústria têxtil (tex)
10- União Européia (EUR)	10- Vestuário e calçados (wap)
11- China (CHN)	11- madeira e mobiliário (lum)
12 – Resto do Mundo (ROW)	12 – Papel, celulose e ind. gráfica (ppp)
	13 – Químicos, ind. borracha e plásticos (crp)
	15
	16 – Construção(cns)
	17 – Comércio (trd)
	18 – Transporte (otp)
	19 - Serviços e administração pública (ser)

Fonte: Gurgel *et al.* (2013)

Quadro 7: Parâmetros representados explicitamente na base de dados do PAEG

Parâmetro	Descrição
<i>Fluxos</i>	
$vdgm_{ir}$	Demanda do governo (doméstica) pela commodity i na região r
$vigm_{ir}$	Demanda do governo (internacional)
$vdpm_{ir}$	Demanda dos agentes privados (doméstica)
$vipm_{ir}$	Demanda dos agentes privados (internacional)
$vdim_{ir}$	Demanda por investimentos
vfm_{fir}	Demanda das firmas por fatores primários
$vdfm_{ijr}$	Demanda das firmas por insumos intermediários domésticos
$Vifm$	Demanda das firmas por insumos intermediários importados
$vxmd_{irs}$	Fluxo comercial bilateral da região r para a região s
vst_{ir}	Exportações de serviços de transportes
$vtwr_{irs}$	Margens de transporte internacional
<i>Impostos e Subsídios</i>	
rto_{ir}	Impostos domésticos à produção (%)
rtf_{fir}	Impostos ao uso de fatores primários na produção (%)
$rtpd_{ir}$	Imposto ao consumo doméstico dos agentes privados (%)
$rtpi_{ir}$	Imposto ao consumo importado dos agentes privados (%)
$rtgd_{ir}$	Imposto ao consumo doméstico do governo (%)
$rtgi_{ir}$	Imposto ao consumo importado do governo (%)
$rtfd_{ijr}$	Imposto ao consumo intermediário doméstico (%)
$rtfi_{ijr}$	Imposto ao consumo intermediário importado (%)
$rtxs_{irs}$	Subsídios às exportações (%)
$rtms_{irs}$	Tarifas de importação (%)
<i>Elasticidades</i>	
$esubd_i$	Elasticidade de substituição entre domésticos e importados
$esubva_i$	Elasticidade de substituição entre fatores primários
$esubm_i$	Elasticidade de substituição entre importações de diferentes origens
$etrae_f$	Elasticidade de transformação

Fonte: Gurgel *et al.* (2013)

Quadro 8: Definição das classes de terra do IBGE

Classe de terra	Definição IBGE
1 - Área Agrícola	Mais de 75% do polígono é ocupado por lavouras temporárias e lavouras permanentes, irrigadas ou não, sendo a terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, que podem estar plantadas ou em descanso e também as áreas alagadas cultivadas. Pode ser representada por zonas agrícolas heterogêneas ou extensas áreas de plantations.
2 - Pastagem com manejo (antiga pastagem plantada)	Área predominantemente ocupada por vegetação herbácea cultivada. São locais destinados ao pastoreio do gado e outros animais, formados mediante plantio de forragens perenes, sujeitos a interferências antrópicas de alta intensidade, como limpeza da terra (destocamento e despedramento), calagem e adubação.
3 - Mosaico de área agrícola com remanescentes florestais	Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono utilizado para agricultura, pastagens e/ou silvicultura e o restante ocupado por remanescentes florestais. Podem ocorrer, em menor proporção, outras formações vegetais (herbáceas e arbustivas).
4 - Silvicultura	Área caracterizada pelo cultivo de florestas plantadas com espécies exóticas. Nesta classe mais de 75% do polígono deve ser ocupado por silvicultura.
5 - Vegetação Florestal	Mais de 75% do polígono ocupado por florestas. Consideram-se florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Floresta Densa (estrutura florestal com cobertura superior contínua), de Floresta Aberta (estrutura florestal com diferentes graus de descontinuidade da cobertura superior, Conforme seu tipo com cipó, bambu, palmeira ou sororoca), de Floresta Estacional (estrutura florestal com perda das folhas dos estratos superiores durante a estação desfavorável – seca e frio), além da Floresta Ombrófila Mista (estrutura florestal que compreende a área de distribuição natural da Araucaria angustifolia, elemento marcante nos estratos superiores, que geralmente forma cobertura contínua). Inclui outras feições em razão de seu porte superior a 5 m de altura, como a Savana florestada, Campinarana florestada, Campinarana arborizada e os Manguezais.
6 - Mosaico de Vegetação Florestal com Atividade Agrícola	Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono ocupado com vegetação florestal e o restante ocupado por mosaicos de lavouras temporárias, irrigadas ou não, lavouras permanentes, pastagens e/ou silvicultura.

7 - Vegetação Campestre	<p>Mais de 75% do polígono ocupado por formações não-arbóreas (campestres). Entende-se como campestres as diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Incluemse nessa categoria as Savanas, Estepes, Savanas Estépicas, Formações Pioneiras e Refúgios Ecológicos. Encontram-se disseminadas por diferentes regiões fitogeográficas, compreendendo diferentes tipologias primárias: estepes planaltinas, campos rupestres das serras costeiras e campos hidroarenosos litorâneos (restinga), conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (2013).</p>
8 - Pastagem natural	<p>Área ocupada por vegetação campestre (natural) sujeita a pastoreio e outras interferências antrópicas de baixa intensidade.</p>
9 - Mosaico de área agrícola com remanescentes campestres	<p>Área que contenha mais de 50% e menos de 75% do polígono utilizado para agricultura, pastagens e/ou silvicultura e o restante ocupado por remanescentes campestres. Podem ocorrer, em menor proporção, formações vegetais arbóreas.</p>

Fonte: Mudanças na Cobertura e Uso da Terra do Brasil - IBGE

APÊNDICE B
TABELAS DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Tabela 21: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 2 (%)

Setores*	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Pdr	0,10	0,21	0,14	0,17	0,17
Gro	0,09	0,20	0,09	0,15	0,17
Osd	0,09	0,18	0,11	0,15	0,17
c_b	0,41	0,37	0,38	0,41	0,39
Oap	0,11	0,18	0,14	0,16	0,16
Rmk	0,10	0,13	0,15	0,15	0,16
Agr	0,08	0,21	0,11	0,14	0,17
Foo	0,01	0,03	0,03	0,02	0,04

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

Tabela 22: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 4 (%)

Setores*	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Pdr	0,08	0,18	0,11	0,18	0,13
Gro	0,08	0,17	0,08	0,19	0,12
Osd	0,08	0,15	0,09	0,17	0,12
c_b	0,27	0,32	0,23	0,57	0,25
Oap	0,09	0,15	0,11	0,19	0,12
Rmk	0,09	0,11	0,12	0,19	0,12
Agr	0,07	0,19	0,09	0,19	0,13
Foo	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

Tabela 23: Variação dos preços setoriais em cada macrorregião brasileira após a implementação do choque CH 5 (%)

Setores*	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Pdr	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Gro	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Osd	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
c_b	-0,29	-0,30	-0,21	-0,25	-0,24
Oap	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
Rmk	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Agr	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Foo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr); Produtos alimentares – Outros produtos alimentares, bebidas e tabaco. (foo);

Tabela 24: Mudança na remuneração dos fatores primários em cada macrorregião brasileira (%)

Região		Norte				
Fator primário	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	
Capital	-0,03	-0,01	-0,03	0,00	0,00	
Trabalho	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,00	
Terra	2,96	0,53	2,50	0,45	-0,01	
		Nordeste				
Fator primário	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	
Capital	-0,03	0,00	-0,03	0,00	0,01	
Trabalho	-0,07	-0,01	-0,06	-0,01	0,01	
Terra	6,85	1,26	6,08	1,09	-0,26	
		Centro-Oeste				
Fator primário	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	
Capital	-0,02	0,00	-0,01	0,00	0,00	
Trabalho	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,00	
Terra	4,06	0,72	2,94	0,54	-0,02	
		Sudeste				
Fator primário	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	
Capital	-0,07	-0,01	-0,07	-0,01	0,00	
Trabalho	-0,05	-0,01	-0,06	-0,01	0,00	
Terra	3,91	0,70	5,44	0,97	-0,06	
		Sul				
Fator primário	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5	
Capital	-0,02	0,00	-0,02	0,00	0,00	
Trabalho	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	0,00	
Terra	5,92	1,09	4,17	0,77	-0,06	

Fonte: Resultados da pesquisa

Tabela 25: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Norte (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,48	0,09	0,41	0,08	0,00
Gro	0,43	0,08	0,36	0,07	0,00
Osd	0,47	0,08	0,40	0,07	0,00
c_b	1,99	0,40	1,31	0,26	2,05
Oap	0,41	0,07	0,36	0,06	0,00
Rmk	0,45	0,08	0,40	0,07	0,00
Agr	0,41	0,07	0,36	0,07	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr);

Tabela 26: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Nordeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,98	0,18	0,87	0,16	0,03
Gro	0,97	0,18	0,87	0,16	0,03
Osd	0,88	0,16	0,78	0,14	0,03
c_b	1,58	0,31	1,41	0,27	2,09
Oap	0,93	0,17	0,83	0,15	0,03
Rmk	0,85	0,16	0,77	0,14	0,03
Agr	0,93	0,18	0,83	0,15	0,03

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr);

Tabela 27: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Centro-Oeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,52	0,09	0,39	0,07	0,00
Gro	0,33	0,06	0,25	0,05	0,00
Osd	0,47	0,09	0,35	0,07	0,00
c_b	1,82	0,38	1,10	0,22	2,04
Oap	0,43	0,08	0,32	0,06	0,00
Rmk	0,44	0,08	0,35	0,07	0,00
Agr	0,49	0,09	0,37	0,07	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr);

Tabela 28: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Sudeste (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,50	0,09	0,63	0,12	0,00
Gro	0,51	0,09	0,71	0,13	0,00
Osd	0,44	0,08	0,60	0,11	0,00
c_b	1,68	0,34	2,33	0,49	2,05
Oap	0,52	0,10	0,70	0,13	0,00
Rmk	0,53	0,10	0,71	0,13	0,00
Agr	0,52	0,09	0,70	0,13	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr);

Tabela 29: Variação da produtividade da terra em cada setor, na região Sul (%)

Setores*	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4	CH 5
Pdr	0,61	0,11	0,45	0,08	0,00
Gro	0,59	0,11	0,42	0,08	0,00
Osd	0,58	0,11	0,42	0,08	0,00
c_b	1,68	0,34	1,07	0,21	2,05
Oap	0,62	0,12	0,45	0,09	0,00
Rmk	0,57	0,11	0,42	0,08	0,00
Agr	0,59	0,11	0,43	0,08	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa

*Arroz (pdr); Milho e outros cereais em grão (gro); Soja e outras oleaginosas (osd); Cana-de-açúcar, beterraba açuc., ind. açúcar (c_b); Carnes e animais vivos (oap); Leite e derivados (rmk); Outros produtos agropecuários – trigo, fibras, frutas, vegetais etc. (agr);