

NEREUS

Núcleo de Economia Regional e Urbana
da Universidade de São Paulo
The University of São Paulo
Regional and Urban Economics Lab

**MODELAGEM DO USO DA TERRA E MENSURAÇÃO DOS
EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**

Weslem Rodrigues Faria
Eduardo A. Haddad

TD Nereus 02-2013
São Paulo
2013

Modelagem do Uso da Terra e Mensuração dos Efeitos de Mudanças Climáticas no Brasil

Weslem Rodrigues Faria e Eduardo A. Haddad

Resumo. O artigo trata do desenvolvimento de um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) com especificação detalhada do uso da terra. Tal especificação foi incorporada no modelo de forma a considerar 13 distintos usos da terra. Estes usos foram classificados de forma a manter a correspondência com a classificação dos produtos do Novo Sistema de Contas Nacionais do IBGE, permitindo também com que os mesmos sejam associados aos produtos do sistema econômico do modelo. A incorporação do uso da terra no modelo foi feita tanto pelo lado da demanda, neste caso o fator terra é uma medida de custos de produção da utilização de tal fator, quanto pela oferta física de terra, que funciona como restrição ao processo de conversão de terra entre os usos possíveis. Para analisar os efeitos econômicos de mudanças climáticas, foi utilizada uma metodologia que integrou o modelo EGC a um modelo econométrico. Dessa forma, os resultados deste modelo, que capturou como a alocação de terra responde a variações de temperatura e precipitação, foram utilizados como elasticidades no modelo EGC para gerar deslocamentos na demanda por terra segundo os usos possíveis e regiões. As simulações tiveram como base informações de um período base e de projeções climáticas. Foram supostas variações de temperatura e precipitação entre o período 1975-2005 e os períodos 2010-39, 2040-69 e 2070-99 dos cenários A2 e B2 do IPCC. Os resultados indicaram uma variação negativa do PIB real entre -0,0051% e -0,0198% no cenário A2 e entre -0,0054% e -0,0137% no cenário B2.

1. Introdução

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ¹ tem publicado as principais informações referentes às previsões de variações de temperatura e precipitação. Para isso, algumas hipóteses são realizadas acerca do comportamento econômico, utilização de combustíveis fósseis, uso da terra e adoção de fertilizantes, iniciativas sociais, valorização do meio ambiente etc. Tais hipóteses correspondem a cenários cujas características são assumidas ocorrerem ao longo do tempo. O Quadro 1 resume os principais cenários adotados pelo IPCC na geração das estimativas dos indicadores de mudanças climáticas.

¹ Utiliza-se aqui o seguinte conceito de mudanças climáticas do IPCC: “mudança climática é entendida como uma variação estatisticamente significativa em um parâmetro climático médio ou sua variabilidade, persistindo um período extenso (tipicamente décadas ou por mais tempo). A mudança climática pode ser devido a processos naturais ou forças externas ou devido a mudanças persistentes causadas pela ação do homem na composição da atmosfera ou do uso da terra” (www.ipcc.ch).

Quadro 1. Resumo dos cenários do IPCC¹

A1	Este cenário descreve um mundo de crescimento econômico rápido, crescimento populacional que atinge o pico em meados do século e rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. Principais questões subjacentes são a convergência entre regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita. ²
A2	Este cenário é caracterizado por um mundo heterogêneo. A principal questão autossuficiência e a preservação das identidades locais. Padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que resulta no aumento contínuo da população. Desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região e o crescimento econômico per capita e as mudanças tecnológicas são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros cenários.
B1	Este cenário descreve um mundo convergente com a mesma população global, que chega ao valor mais alto em meados do século e declina em seguida, assim como no cenário A1, mas com rápida mudança nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções da intensidade do uso de materiais e a introdução de tecnologias limpas e de recursos tecnológicos mais eficientes. A ênfase é dada nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo a melhoria da equidade, mas sem iniciativas climáticas adicionais.
B2	Este cenário descreve um mundo em que a ênfase reside em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Neste mundo, a população global aumenta continuamente, mas a uma taxa inferior a prevista pelo cenário A2. Prevalecem níveis intermediários de desenvolvimento econômico, com mudanças tecnológicas menos rápidas e mais diversas do que nos cenários B1 e A1. Neste cenário, a orientação para a proteção ambiental e equidade social ocorre aos níveis local e regional.

Notas: 1) Este quadro sumariza os cenários do Relatório Especial do IPCC sobre Emissões.

2) A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva em fósseis (A1FI), fontes de energia não fóssil (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B).

Fonte: IPCC (2007).

Como base nos cenários que definem as hipóteses acerca da trajetória do mundo, estimativas de temperatura foram calculadas e divulgadas pelo IPCC. Os valores são reportados na Tabela 1. As estimativas variam de acordo com o cenário, sendo que o valor médio mais brando para o aquecimento global para o período 2090-2099 é de 1,8°C, relativo ao cenário B1, e o valor mais alto é igual 4°C no cenário A1F1. Com relação à precipitação, em razão da existência de um clima futuro mais quente, os modelos de previsão indicam que a precipitação aumenta de forma generalizada nas áreas de máxima precipitação tropical regional (e.g. regimes de monções) e sobre o pacífico tropical. Além disso, é prevista redução da precipitação nas regiões subtropicais e aumento em áreas de altas latitudes em razão da intensificação do ciclo hidrológico global. As médias globais de vapor água, evaporação e precipitação são projetadas aumentar (Meehl *et al.*, 2007).

Com base em conjecturas de mudanças climáticas, como as apresentadas pelo Quadro 1.1 e Tabela 1, alguns estudos tiveram como foco a análise dos efeitos de mudanças

climáticas no Brasil. Os primeiros desenvolvimentos foram realizados considerando a modelagem ricardiana da terra. Nesta metodologia, fatores biofísicos da terra, como tipos de solo e regimes de chuvas segundo estações, são levados em conta. O método de solução baseia-se em modelos econométricos em que os produtores objetivam maximizar suas funções de receita de acordo com a alocação da terra nos diferentes usos possíveis. Variáveis climáticas fazem parte do processo de decisão dos agentes. Alguns resultados para o Brasil preveem, via esta análise, queda do valor da terra no Brasil proporcionada pelo efeito conjunto do aumento de temperatura e variação na precipitação, ocorrendo de forma mais intensiva nos estados do Centro-Oeste, enquanto que Rio Grande do Sul e Santa Catarina poderiam experimentar aumento do valor da terra (Sangui *et al.*, 1997; Sanghi e Mendelsonh, 2008).

Tabela 1. Média de aquecimento global da superfície terrestre projetada para o século 21 (Mudança na temperatura em °C para o período 2090-2099 em relação ao período 1980-1999)

Cenários	Melhor estimativa	Intervalo provável
<i>B1</i>	1,8	1,1–2,9
<i>A1T</i>	2,4	1,4–3,8
<i>B2</i>	2,4	1,4–3,8
<i>A1B</i>	2,8	1,7–4,4
<i>A2</i>	3,4	2–5,4
<i>A1FI</i>	4	2,4–6,4

Fonte: IPCC (2007).

Nesta linha de modelagem econométrica, vale destacar ainda os resultados do trabalho de Feres *et al.* (2009), que buscaram identificar o efeito de mudanças climáticas globais sobre a alocação do uso da terra no Brasil. Tal uso foi dividido entre lavoura, pasto e floresta, nos estabelecimentos agrícolas. Basearam-se em resultados do modelo PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) sobre variação de temperatura e precipitação para os cenários de emissões A2 e B2 do IPCC. Os principais resultados indicam que em ambos os cenários as mudanças climáticas criam uma pressão positiva para a redução da alocação de florestas, principalmente devido ao aumento da área de pastagem. A expansão da lavoura ocorreria de forma mais significativa a partir de 2050 e mais concentradamente na região Sul do país. Além disso, os efeitos das mudanças climáticas ocorrem de forma distinta no Brasil, tendo como consequência maior pressão para expansão da fronteira agrícola em direção à região Amazônica.

Em termos de modelagem de equilíbrio geral computável (EGC), um grande estudo foi realizado para mensurar os efeitos de mudanças climáticas no Brasil. Tal trabalho, realizado no âmbito de estudo da economia das mudanças climáticas, tiveram como base projeções macroeconômicas até o ano de 2050 que forneceram as condições de contorno da evolução da economia brasileira e mundial. A trajetória da economia nacional a nível setorial foi projetada de forma consistente com esta evolução da economia mundial e com os cenários de mudanças climáticas do IPCC, A2 e B2. Além das projeções macroeconômicas, a estratégia metodológica considerou um grande procedimento de integração de modelos, levando em projeções para agricultura e uso da terra, energia e demografia para alimentar o modelo EGC. Os resultados desse trabalho indicam uma redução de 0,5% e 2,3% no PIB do Brasil projetados para 2050 considerando a existência de mudanças climáticas dos cenários A2 e B2, respectivamente. As perdas devido a este fenômeno significariam, em termos de 2008, um custo entre R\$ 719 bilhões e R\$ 3,6 trilhões ou um ano de crescimento econômico em um horizonte temporal de 40 anos (Margulis e Dubeux, 2010). Além deste trabalho, outro estudo baseado na metodologia EGC foi realizado para mensurar efeitos de mudanças climáticas no Brasil. Os resultados deste estudo projetam efeitos negativos deste fenômeno sobre a agricultura. Ademais, indicadores agregados como PIB, emprego e salários são adversamente impactados (Ferreira Filho e Horridge, 2010).

Vale ser destacado por fim, um amplo estudo conduzido pela Embrapa (2008)², embora não tenha sido utilizado nenhum dos instrumentais econômicos mencionados anteriormente, mas sim análise de Zoneamento de Riscos Climáticos para definir áreas aptas ou inaptas de cada tipo de lavoura e simulação de cenários climáticos para o Brasil, a partir do modelo climático PRECIS. Os resultados deste estudo acerca da avaliação dos efeitos do aquecimento global sobre a configuração espacial da produção agrícola no Brasil indicaram que o aumento da temperatura pode provocar um prejuízo para o setor agrícola de R\$ 7,4 bilhões até 2020 e R\$ 14 bilhões até 2070. Foi previsto que a soja será a cultura mais afetada, mas os efeitos são distintos sobre as culturas, uma vez que estas apresentam intensidade de produção de forma distinta nas regiões. Dessa forma, regiões mais afetadas negativamente como o Nordeste e o Centro-Oeste devem

² Trabalhos seguintes utilizando modelos EGC foram desenvolvidos com base nos resultados deste estudo (e.g. Domingues *et al.*, 2008; Moraes, 2010).

ter suas culturas mais prejudicadas. Além disso, as mudanças climáticas podem promover uma espécie de efeito substituição regional, tornando culturas até então aptas em regiões tradicionais, inaptas diante dos cenários de aumento de temperatura, mas aptas em outras regiões pouco tradicionais. Assim, a região Sul poderá se tornar o destino de algumas culturas como o café, mandioca e cana-de-açúcar.

Em geral, os resultados destes estudos indicam que os efeitos de mudanças climáticas podem ser adversos sobre a economia, podendo os mesmos ser mais ou menos intensos dependendo do cenário considerado. A apresentação dos resultados já encontrados dos efeitos de mudanças climáticas no Brasil tem como objetivo retratar informações relevantes para contextualizar os possíveis resultados que podem ser obtidos neste trabalho. A metodologia EGC foi empregada poucas vezes para mensurar os efeitos desse fenômeno no Brasil. Mesmo quando aplicada, não foi observado tratamento específico no que diz respeito ao uso da terra, fator este diretamente ligado ao desempenho potencial dos produtos agrícolas a choques exógenos. Além disso, mesmo trabalhos baseados em outras metodologias não são numerosos. Isso suscita o fato de que avanços em métodos de análises para avaliar este tema são relevantes, principalmente para aplicação ao caso do Brasil, país com grande dimensão, que pode ser bastante afetado ao longo do tempo. Portanto, isso merece ser explorado mais a fundo, em virtude do potencial do relacionamento que pode ser estabelecido na modelagem EGC.

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia EGC com especificação detalhada do uso terra, tanto pelo lado da demanda quanto pelo lado da oferta. Para analisar os efeitos econômicos de mudanças climáticas, foi utilizada uma estratégia de integração com os resultados de um modelo econométrico que estimou parâmetros da influência de variáveis climáticas sobre a alocação de terra entre diferentes usos. Além desta introdução, o trabalho tem mais cinco seções: i) revisão de literatura acerca das estratégias de incorporação do uso da terra na modelagem EGC; ii) metodológica; iii) banco de dados; iv) estratégia de integração do modelo EGC do uso da terra ao modelo econométrico e; v) resultados e conclusão.

2. Modelagem EGC com Uso da Terra

Os modelos EGC são amplamente utilizados para avaliação de políticas tarifárias, comércio exterior e transporte. No entanto, a implementação do uso da terra em modelos EGC é relativamente recente em comparação a estas análises. Embora muitos economistas clássicos tenham desenvolvido seus trabalhos baseados na utilização do fator de produção terra, parte do interesse sobre o tema foi diminuindo ao longo do século XX. Como mencionou Barbier (2001), os economistas não foram os primeiros cientistas a voltarem atenção para as consequências da destruição de áreas de florestas e perda de biodiversidade. No entanto, o recente debate sobre os efeitos das mudanças climáticas globais pode ter estimulado os pesquisadores a superarem as principais dificuldades técnicas associadas à ligação entre o uso terra e os modelos EGC.

A principal vantagem de utilizar modelos EGC para análise do uso da terra é que tais modelos captaram de forma sistêmica os efeitos de mudanças no padrão do uso da terra. Estes modelos são atrativos para este tipo de análise, uma vez que conseguem modelar o comportamento dos produtores com relação à demanda por terra segundo as diferentes possibilidades de uso. Como estes modelos consideram preços relativos e o comportamento dos produtores tende a ser assumido de maximização, a alocação da terra é direcionada ao uso produtivo de forma a fornecer o maior retorno. Como os trabalhos desenvolvidos para analisar uso da terra a partir de modelos EGC são recentes e pouco abundantes foram encontrados apenas dois trabalhos de revisão de literatura sobre o tema: Heistermann *et al.* (2006) e Hertel *et al.* (2008a).

A principal dificuldade de considerar de forma conjunta o uso da terra e a modelagem EGC é a forma com que o uso da terra é especificado no modelo EGC ou a forma de integração. Assim, o foco desta seção será na investigação da estratégia utilizada pelos trabalhos na implementação do uso da terra no modelo EGC e, quando for o caso, identificação das variáveis ou equações de ligação. O primeiro trabalho amplamente conhecido de modelagem EGC com uso da terra foi o de Darwin *et al.* (1995). Estes autores empregaram uma estratégia de modelagem integrada, chamada FARM, para avaliar como mudanças climáticas poderiam afetar crescimento populacional, comércio internacional e economia. A modelagem FARM era constituída de dois módulos: (i) geográfico-ambiental, representado por um modelo de circulação geral, que era

calibrado com informações geo-referenciadas que fazia a ligação do clima com a disponibilidade de terra e água; e (ii) econômico, que era representado por um modelo EGC. A parte geográfica do FARM classificava a terra em seis classes, segundo a duração do período de crescimento das lavouras (estações). Estas classes funcionavam como subsetores dentro de cada uma das atividades de culturas, pecuária e floresta. As informações biofísicas dentro do módulo geográfico-ambiental, e.g., solo e umidade, foram computadas no cálculo das estações. O conjunto de informações geradas por este módulo era utilizado para alimentar o módulo econômico. Não foi permitida iteração entre os dois módulos, caracterizando uma integração no estilo *soft link*. Este método foi aplicado também para projetar os impactos de mudanças climáticas sobre áreas de floresta tropical (Darwin *et al.*, 1996) e aumento do nível dos oceanos (Darwin e Tol, 2001).

O modelo GTAP (Hertel, 1997) foi o grande foco para o desenvolvimento da análise de uso da terra em modelos EGC, e algumas versões deste modelo para acomodar de forma mais detalhada a estrutura da terra foram observadas. O GTAPE-L foi construído para acomodar processos de substituição de energia e incorporar o uso da terra. A estratégia de incorporação do uso da terra foi análoga à realizada no modelo FARM, isto é, integração EGC com o modelo IMAGE.

Um desenvolvimento a partir desta abordagem foi à incorporação de informações do modelo PEM³ da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) para melhorar a especificação da estrutura produtiva agrícola, e na definição de curvas de oferta regional de terra, empregada na definição do movimento de alocação da terra em termos da intensidade do uso. A integração entre o GTAPE-L e o IMAGE foi feita com base na simulação de cenários econômicos e ambientais, em que foi permitida a obtenção de resultados com base em um mecanismo iterativo. Nesta abordagem, o resultado de equilíbrio ocorre como parte do exercício de simulação integrada, quando é alcançada a convergência (van Meijl *et al.*, 2006). Outra estratégia de integração observada foi o KLUM@GTAP, que teve como referência os modelos GTAP-E (Burniaux e Truong, 2002; McDougall e Golub, 2007) e KLUM (Ronneberger *et al.*, 2009).

³ Sigla vem do inglês *Policy Evaluation Model*.

No entanto, a maioria das análises envolvendo o uso da terra em modelos EGC foi realizada considerando a estratégia de incorporação adotada na construção do modelo GTAP-AEZ (Lee, 2004). Este modelo foi desenvolvido para retratar emissões relacionadas ao uso da terra e descrever o processo utilizado para a consideração de aspectos biofísicos, e.g., temperatura, precipitação, tipos de solo e condições da terra, no procedimento de calibragem do modelo EGC. O uso da terra foi considerado em termos de Zonas Agroecológicas (AEZ) com 18 AEZ globais identificadas (FAO, 2000; Fisher *et al.*, 2002). As 18 AEZ foram classificadas de acordo com três zonas climáticas, cada zona era formada por seis AEZ. Cada AEZ possuía uma característica própria, sendo a vocação de cada AEZ definida pelo principal produto da região. Dentro de cada AEZ, poderia existir competição entre os diferentes tipos de lavouras, formando um composto, que por sua vez, competiria com pastagem. A competição entre o composto de lavouras e pastagem formaria o composto da agropecuária, que competiria com floresta por terra. A terra era utilizada como fator de produção dividida entre cada AEZ, segundo o uso. A oferta de terra era móvel entre os setores produtores dentro de cada AEZ, mas mantida constante entre as AEZ. A ligação do uso da terra em termos de AEZ com o modelo EGC foi feita utilizando uma equação, que distribuiu a retorno de cada uso da terra em cada AEZ (Lee *et al.*, 2008). O desenvolvimento desta abordagem representou um grande passo na trajetória de incorporação do uso da terra em modelos EGC. Tal modelo foi utilizado para avaliar oportunidades de mitigação de emissões relacionadas ao uso da terra, via aplicação de uma taxa sobre o nível de emissões que refletisse a competição entre os diferentes usos da terra (Hertel *et al.*, 2008b) e para analisar os efeitos de mudanças climáticas sobre o uso da terra, oferta, demanda e preços dos alimentos (Lee, 2009).

A partir do GTAP-AEZ, outros desenvolvimentos foram realizados tomando como base a estrutura sugerida por este modelo.⁴ O modelo GTAP-EPA⁵ decompôs o retorno da terra entre as AEZ no processo de calibração (Lee *et al.*, 2005). A partir deste estudo, o modelo GTEM foi desenvolvido para especificar o uso da terra nas bases do modelo MEGABARE, feito no âmbito de um estudo do ABARE (Hinchey e Hanslow, 1996;

⁴ Outros desenvolvimentos incluem os modelos GTAP-AEZ-GHG (Golub *et al.*, 2008), ENVISAGE (van der Mensbrugge, 2008) e LEITAP (Nowicki *et al.*, 2007; Tabeau *et al.*, 2009).

⁵ EPA é uma sigla que vem do inglês *Environmental Protection Agency*.

Ahmmad e Mi, 2005). Em relação ao GTAP-EPA, esta estratégia contribuiu na incorporação na dinâmica de floresta e do setor madeireiro no modelo EGC e a possibilidade de sequestro de carbono que poderia ser associada a isso. Além disso, introduziu também a possibilidade de substituição entre terra e fertilizantes na tecnologia de produção e a estrutura da oferta da terra foi desenhada para acomodar de forma flexível a possibilidade de alocação da terra entre as atividades agrícolas e de floresta.

3. Modelo BLUE

O modelo *Brazilian Land Use Energy* (BLUE) foi derivado a partir do modelo B-MARIA-27, que serviu como base para a especificação das equações comportamentais e para implementação computacional. A estrutura energética do modelo ENERGY-BR foi adotada para a incorporação dos produtos e setores de energia ao banco de dados do modelo. Em relação ao B-MARIA-27, o ENERGY-BR adotou uma abordagem setor \times setor de modelagem, que consiste na especificação das funções de produção dos setores de forma a permitir que cada setor produza apenas um produto. A especificação do modelo BLUE, assim como no B-MARIA-27 e o ENERGY-BR, representa uma abordagem não multiproduto das funções de produção, que, neste caso, permite que um setor produza mais de um produto.

3.1. Características do Modelo

O modelo reconhece a economia de 27 regiões do Brasil, uma correspondente a cada uma das 27 Unidades da Federação. Os resultados são baseados na abordagem *bottom-up*, em que resultados nacionais são obtidos a partir da agregação dos resultados regionais. O modelo identifica, em cada uma das 27 Unidades da Federação, 42 produtos, sendo 13 relacionados à atividade da agropecuária e 9 de energia. O sistema corresponde a uma relação produto \times produto, adotada para que o modelo pudesse observar o componente terra do valor adicionado de forma desagregada, tal qual na especificação dos produtos.

A escolha desta estrutura em termos da quantidade de produtos deveu-se a possibilidade de captação do relacionamento entre os diferentes usos da terra e os produtos agrícolas.

Assim, tal estrutura do modelo permite que sejam considerados efeitos de transbordamentos do relacionamento sistêmico indireto de equilíbrio geral entre o uso da terra e os produtos de energia. A utilização de produtos desagregados de energia se justifica também por permitir a obtenção de resultados em termos de emissões, o que representa um bom indicador a ser analisado em contexto de avaliação de efeitos econômicos de mudanças no clima e variação da produtividade agrícola. Isso também significa que emissões provenientes do uso indireto do uso da terra também sejam consideradas, neste caso, via utilização de insumos energéticos.

3.2. Estrutura do Modelo

A estrutura teórica do modelo segue o pressuposto de uma economia *walrasiana*, em que o equilíbrio nos mercados é alcançado e outras hipóteses são assumidas em conformidade com a estrutura formal de um sistema de equilíbrio geral Arrow-Debreu padrão (Arrow e Hahn, 1971).

O sistema de equações linearizadas mostra as relações que determinam demanda e oferta, derivadas de hipóteses de otimização e equilíbrio de mercados competitivos. Além disso, são representados os agregados regionais e nacionais de emprego, nível de preços e balança comercial (Haddad, 1999). A estrutura do modelo pode ser representada basicamente por cinco módulos de equações integradas, relativas: (1) ao *core* (núcleo) do modelo; (2) ao mercado de trabalho e migração regional; (3) às finanças públicas; (4) à acumulação de dívida externa; e (5) às emissões. Os detalhes com relação à estrutura aninhada de substituição de insumos intermediários e a estratégia de modelagem do uso da terra no modelo EGC são discutidos a frente. As características do modelo com relação à acumulação de capital, investimento e dinâmica recursiva também foram representadas. As dimensões retratadas pelas equações enunciam o conjunto de agentes acionados. Ao todo, 6 tipos diferentes de agentes têm o comportamento determinado pelas equações: 42 produtores sendo que cada um produz um dos 42 tipos diferentes de produtos em cada região, sendo que os produtos agrícolas podem usar 13 diferentes tipos de terra; 42 investidores regionais; 27 famílias regionais; 27 governos regionais; 1 Governo Federal e; 1 consumidor estrangeiro.

A demanda pelos diferentes usos da terra, bem como a conversão da terra entre os mesmos são descritas no núcleo do modelo. Além disso, os processos de substituição dos produtos da agropecuária e dos produtos energéticos serão abordados no núcleo do modelo. Em geral, algumas características do modelo podem ser pontuadas. A oferta de trabalho é determinada por fatores demográficos, enquanto que o capital é governado por uma taxa de retorno. A oferta de terra também é governada pelo retorno relativo entre os usos da terra. Os fatores primários de produção podem ter mobilidade interregional, dependendo da estratégia de identificação utilizada para o comportamento das equações. Caso isso seja permitido ocorrer, o movimento interregional dos fatores advém como consequência do diferencial relativo de remuneração, no caso do capital e da terra, da taxa de retorno e, do trabalho, dos salários reais.

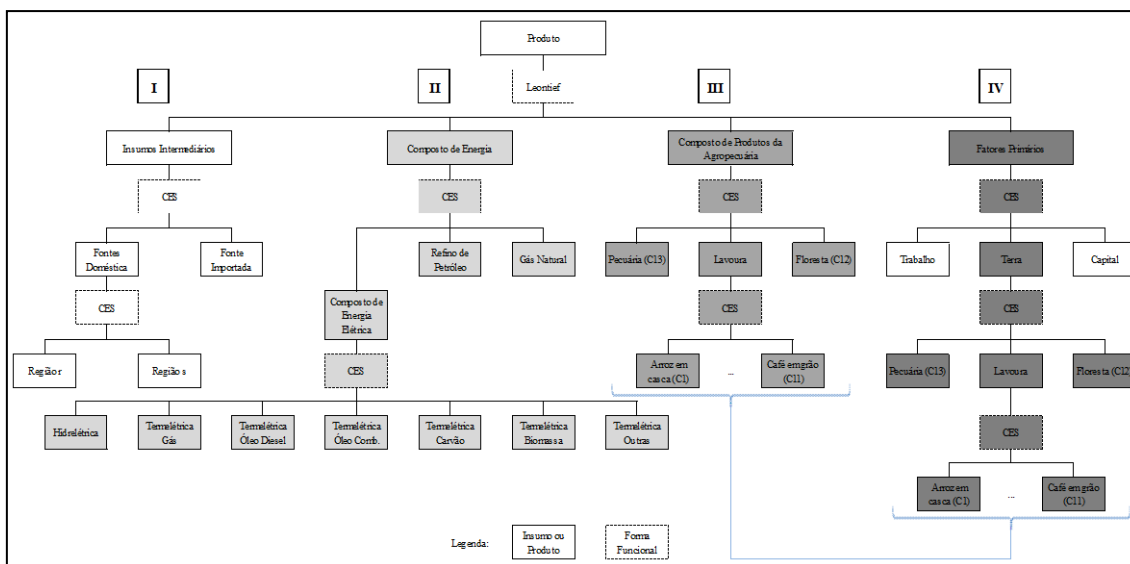
Os mercados regionais são assumidos perfeitamente competitivos, o que implica que o custo marginal de produção é igual ao preço do produtor em cada produto regional. Com isso, para cada produto em todas as regiões o lucro é igual à zero. Há equilíbrio entre a oferta e a demanda em todos os mercados, com a exceção dos mercados dos fatores terra e trabalho, em que excessos de oferta podem ser permitidos para acomodar os efeitos sobre a demanda, com impactos sobre os retornos e salários. O governo atua na economia estabelecendo impostos e/ou subsídios sobre os preços de compra e vendas de bens. Dois produtos são considerados produtos de margens: Comércio e Transporte e Correio. A existência destes produtos indica que os custos de transferências de bens na economia, tanto de insumos intermediários quanto de produtos para consumo pela demanda final, são computados nos preços ao nível dos compradores. Outras características no módulo central do modelo incluem os componentes do produto nacional (PIB) e regional (PRB), índices de preços regionais e nacionais, preços de fatores, agregados de emprego e terra e especificações das equações de salário e retorno da terra, por tipo de uso.

3.2.1. Demanda por insumos no processo de produção, oferta de terra e fronteira de transformação de terra

As principais mudanças inseridas no modelo BLUE em relação aos outros modelos EGC desenvolvidos para analisar a economia brasileira correspondem a um maior detalhamento da demanda por insumos intermediários e primários. Em particular, tais

mudanças foram introduzidas na especificação do fator terra e no processo de substituição para os produtos da agropecuária. A Figura 1 retrata a estrutura aninhada da tecnologia de produção do modelo. Tal figura foi dividida em quatro partes para facilitar a apresentação das mudanças e as etapas seguidas no processo de modificação: (1) o bloco I refere-se à estrutura de substituição entre bens domésticos e importados; (2) o bloco II corresponde à estrutura de substituição entre os insumos energéticos intermediários; (3) o bloco III retrata o processo de substituição entre os insumos da agropecuária e; (4) o bloco IV apresenta a estrutura dos insumos primários de produção, em que o processo de substituição entre os usos de terra para a formação do composto terra está inserido.

Figura 1. Estrutura aninhada da tecnologia de produção



Em geral, o modelo reconhece dois tipos de insumos: insumos intermediários e insumos primários. Dentro dos insumos intermediários, foram consideradas três categorias: insumos intermediários energéticos, insumos intermediários da agropecuária e outros insumos intermediários. Três diferentes fatores primários foram utilizados: terra, capital e trabalho. O comportamento dos agentes produtores é assumido otimizador em relação a demanda por fatores de produção, isto é, os mesmos escolhem uma combinação de fatores que minimizam custos de produção para um dado nível de produto.

A tecnologia de produção do modelo possui três níveis com relação aos insumos intermediários e quatro níveis na demanda por insumos primários. No primeiro nível, os

insumos intermediários de energia, da agropecuária, outros insumos intermediários e fatores primários são combinados por meio de uma tecnologia de produção *Leontief*, que define a utilização em proporções fixas destes insumos. Os outros níveis foram detalhados abaixo de acordo com os blocos definidos anteriormente.

Os insumos intermediários podem ser demandados por duas fontes regionais: doméstica e exterior. O bloco I retrata a estrutura da demanda por insumos intermediários domésticos e importados. Foi assumido um processo de substituição imperfeito de Armington (1969) entre os insumos destas duas fontes e também entre as fontes regionais. Embora não seja apresentada na Figura 1, a substituição entre bens domésticos e importados englobam também os produtos da agropecuária e de energia. O bloco II, relativo a estrutura de substituição da demanda por insumos energéticos, foi especificada de acordo com os procedimentos adotados nos modelos MMRF-GREEN e ENERGY-BR.

O bloco III representa a estrutura empregada de substituição do composto da agropecuária, formado no nível superior pelo composto dos produtos de lavouras, *Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura e Bovinos e Outros Animais Vivos*. A tecnologia CES⁶ de substituição foi utilizada para retratar as oportunidades deparadas pelos agentes produtores quanto a utilização destes insumos. No nível mais inferior deste bloco, a possibilidade de substituição entre os produtos da lavoura é retratada, também com especificação CES. Este bloco como um todo implica que os produtores podem demandar bens agropecuários considerando uma combinação de insumos agrícolas advindos de lavouras, da pecuária e de produtos florestais. Dentro do composto de lavouras, os produtores escolhem os insumos de forma a minimizar seus custos de produção. Este esquema não permite que os agentes produtores demandem produtos da lavoura diretamente, sendo necessária a formação do composto de lavouras e, subsequentemente, do composto da agropecuária. No entanto, ao contrário da especificação da estrutura da demanda pelo composto de energia, este bloco tem ligação íntima com a estrutura de insumos primários do fator terra. Além disso, o processo de

⁶ *Constant Elasticity of Substitution* (CES), em que, se a elasticidade de substituição for 1, as demandas se comportam como uma função Cobb-Douglas hierarquizada (i.e., participação nos gastos são constantes mesmo com mudanças de preços relativos). Se o parâmetro é igual a zero, a demanda segue a forma de Leontief (i.e., proporções das quantidades constantes independentemente do preço) (ver Dixon *et al.*, 1980).

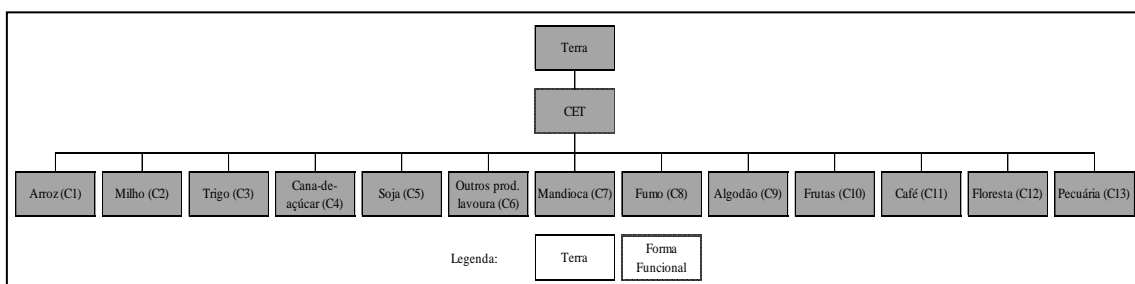
decisão dos produtores, neste caso, implica que necessariamente tais produtores têm que escolher inicialmente entre produtos da pecuária, floresta e lavoura. No segundo momento, a parte devotada às lavouras é acionada. Isso pode fazer mais sentido no caso do Brasil, onde a fronteira agrícola expande, em muitos casos, na forma de conversão de áreas de florestas em pastagem ou produção de culturas voltadas para a exportação.

O bloco IV diz respeito a estrutura de substituição entre os insumos primários de produção. No primeiro nível o composto de fatores primários é constituído pelo capital, trabalho e terra. O modelo sugere uma estrutura diferenciada para o fator terra, com base nos problemas de pesquisas a serem investigados. O segundo nível deste bloco especifica o composto terra, representado pelos usos empregados na pecuária (pastagem), exploração vegetal e nas lavouras. O terceiro nível, que é o mais inferior, retrata a possibilidade de substituição do uso da terra de lavouras entre 11 diferentes usos. Os três níveis foram especificados com tecnologia de substituição CES. A demanda pelo fator terra foi representada por medida de retorno ou remuneração, distinguida segundo os possíveis usos. O uso da terra neste modelo, relativo, neste caso, ao módulo da demanda por terra, é representado pela remuneração que cada uso da terra pode fornecer ao produtor caso a mesma seja utilizada na finalidade associada. Portanto, o uso da terra corresponde à mesma classificação empregada para os produtos da agropecuária. Assim, o modelo explicita a remuneração proporcionada pelos produtos *Bovinos e Outros Animais Vivos, Produtos da Exploração Florestal e da Silvicultura, Arroz em Casca, Milho em Grão*, e assim por diante, até o último produto da lavoura, *Café em Grão*. Fatos como este foi chamado a atenção por Burniaux (2002), em que um vetor tecnológico específico pode ser associado às possibilidades e opções da produção destes bens, em termos de combinação de fatores primários de produção. A correspondência entre os produtos, isto é, insumos intermediários e os usos, foi feita por meio da especificação utilizada no código do modelo, atribuindo o mesmo conjunto de identificação da dimensão produtos e usos da terra. O fato de apenas produtos da agropecuária utilizarem o insumo terra para produção reforça que a ligação entre os produtos e seu correspondente uso é observada. Vale destacar também que as tecnologias de produção dos produtos, cujo mapeamento indica que cada produto é representado pelo seu correspondente, são especificadas como funções de produção em níveis.

Esta estrutura da demanda por terra, segundo os diferentes usos, foi a ligada a oferta de terra. A forma de ligação entre a demanda e a oferta foi feita de forma que a demanda por terra governa o processo de conversão de terra entre os usos, isto é, o lado da oferta. No núcleo do modelo, isto foi alcançado especificando que a variação percentual na demanda por terra é igual a variação percentual da oferta de terra. Este procedimento garante também que o equilíbrio no mercado de terra seja alcançado. O total da oferta de terra disponível regionalmente, isto é, o total de terra potencialmente convertível em cada uma das Unidades da Federação, foi mantido fixo. A Figura 2 apresenta a estrutura da oferta de terra, segundo os usos possíveis. Foi utilizada uma tecnologia CET para governar o processo de transformação entre os usos. Esta função cumpre o papel de especificar a forma de mobilidade da terra entre os usos e indicar como a fronteira de transformações dos tipos de uso da terra pode avançar. Tal função também tem a característica intrínseca de indicar que os produtores agrícolas alocam sua dotação de terra entre os usos de forma a obter o máximo de retorno (Hertel *et al.*, 2010).

Como pode ser observado pela Figura 2, apenas um nível foi estabelecido na especificação da oferta de terra, correspondente às possibilidades de alocação entre os 13 tipos de usos de terra do modelo. A ligação sistêmica estabelecida no modelo implica que a produção dos produtos agrícolas considerados no modelo tem ligação com a oferta de terra via demanda por terra. Uma vez que a demanda por terra é ligada a estrutura dos insumos agropecuários e demanda e oferta de terra tem relacionamento estabelecido no núcleo do modelo, o mecanismo de equilíbrio geral do modelo permite que a produção de insumos agrícolas dependa da quantidade de terra alocada em sua produção.

Figura 2. Estrutura da oferta de terra segundo os modos de utilização



A especificação da oferta de terra seguiu o procedimento sugerido por van Meijl *et al.* (2006). Este procedimento consiste na especificação de uma curva oferta para a agropecuária em um contexto de equilíbrio geral de forma a relacionar a oferta de terra, considerada neste modelo em termos físicos, e os retornos da terra em cada região (lado da demanda). A idéia principal da curva de oferta é retratar o fato de que terras mais produtivas são primeiramente utilizadas no processo produtivo e, ao mesmo tempo, que utilizar marginalmente terra potencialmente disponível, ou seja, terra que poderia ser convertida em uso produtivo, na produção agrícola é limitada. Se a diferença entre a quantidade de terra potencialmente disponível e a quantidade de terra já empregada na produção agrícola é grande, então aumentos na demanda por terra para a produção agrícola conduzirá a uma conversão de terra para a utilização agrícola e um pequeno aumento nos retornos da terra ocorrerá para compensar os custos associados a esta conversão de terra, agora empregada na produção agrícola.

Quando o emprego de uso da terra agrícola aumenta, há um efeito positivo sobre os retornos da terra, porque uma escassez relativa de terra é criada na economia. Dessa forma, quando quase toda a terra disponível já está empregada no uso agrícola, um aumento na demanda por terra para utilização na produção conduzirá a aumentos significativos das taxas de retornos da terra, uma vez que a oferta de terra, que era escassa, torna-se ainda mais escassa. Neste caso, em que o uso de terra agrícola corresponde a quase totalidade da terra disponível, a conversão de terra é mais difícil de ser alcançada. A Figura 3 esquematiza estas situações. A elasticidade da oferta de terra com relação aos retornos da terra deve refletir estes fatos. Quanto maior a disponibilidade de terra, o que implica em maior facilidade no processo de conversão de terra em termos de custos, cujos impactos são refletidos nos retornos da terra, maior deve ser o valor da elasticidade da oferta de terra. Por outro lado, quanto maior for a proporção da terra em uso no total de terra disponível, menor deve o valor da elasticidade, de forma a refletir as dificuldades associadas à conversão de terra. Em cada região, foi assumido que a curva de oferta segue o formato da equação matemática:

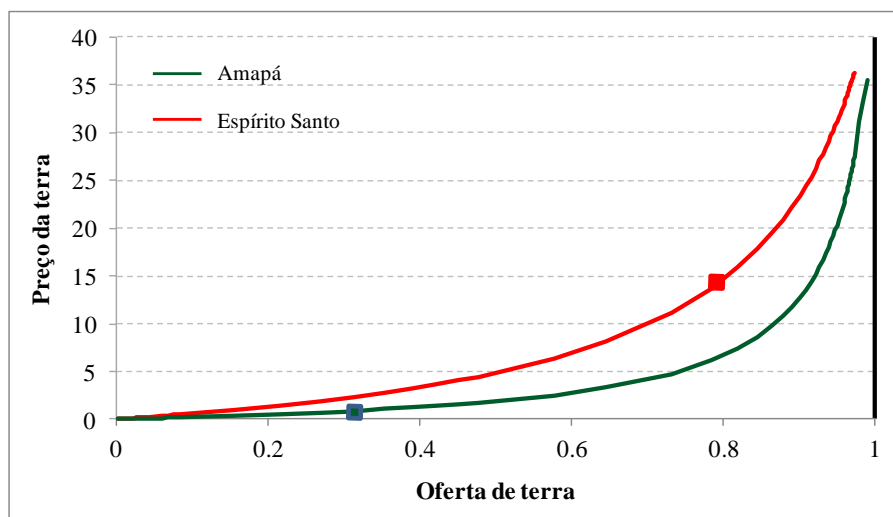
$$S = a - \frac{b}{p} \quad (1)$$

onde S representa a oferta de terra correspondente ao total de terra utilizada no processo de produção; p é o valor da terra regional; $a > 0$ é uma assíntota, interpretada como o total de terra disponível na região ou o máximo de terra potencial disponível que pode ser convertida para a produção; e b é um parâmetro positivo que determina o formato da curva de oferta. A elasticidade da oferta de terra E com relação ao valor da terra é igual a:

$$E = \frac{b}{(a \times p) - b} \quad (2)$$

Os valores de a e b da função oferta de terra foram calibrados de forma a reproduzir o banco de dados do modelo. Foi assumido que o máximo de terra potencialmente disponível para o uso agrícola, expresso pela assíntota a , é a soma da quantidade de terra já empregada na produção agrícola e a quantidade de terra de áreas de floresta de reserva. O banco de dados do modelo foi calibrado de forma a apresentar as informações correspondentes às variáveis S , a e p . Com isso, o termo b pode ser calculado.

Figura 3. Curvas de oferta de terra (assíntota escalonada para 1) para o Espírito Santo e para o Amapá e suas correntes posições na curva de oferta



A Figura 3 resume os principais fatos envolvidos neste procedimento de modelagem da oferta de terra. Os casos de Espírito Santo e Amapá foram utilizados para ilustrar o comportamento da curva de oferta, definido supondo o formato da equação (1). Os

estados de Espírito Santo e Amapá foram escolhidos, uma vez que o Espírito Santo é o estado com o maior grau de utilização de terra na produção agrícola considerando o total de terra potencial. O estado do Amapá, ao contrário, é o estado com maior disponibilidade de terra que pode ser convertida para o processo de produção. Os valores dos preços da terra e da oferta potencial de terra disponível foram escalonados para facilitar a exposição. Assim, o máximo de terra disponível em cada região é igual a 1 (assíntota a na equação (1)). Uma vez que os valores do banco de dados do modelo estão disponíveis apenas para o ano de calibração, valores hipotéticos foram usados para ilustrar o comportamento geral das curvas de oferta. Na curva de oferta de Espírito Santo, o ponto destacado mostra o valor que corresponde ao banco de dados do modelo, em que 80% do total terra disponível já se encontrava em uso na produção agrícola. Na curva de oferta de terra do Amapá, o ponto destacado representa o grau de utilização de terra por este estado, representado pelo banco de dados do modelo (27%). O fato de que a terra é mais escassa no Espírito Santo do que no Amapá é refletida no formato de suas curvas, mostrando que em Espírito Santo existe um cenário em que o processo de conversão de terra para a produção é mais difícil. No limite, toda a terra disponível seria convertida para utilização na produção. A corrente posição do Amapá na curva de oferta, por exemplo, indica que a terra agrícola neste estado ainda pode expandir sem provocar um crescimento elevado no retorno da terra.

Este procedimento representa uma forma de modelar o comportamento da oferta de terra quando as informações do valor da terra encontram-se disponíveis, e possui a vantagem de modelar as oportunidades de conversão com base em restrições físicas ao emprego marginal da terra na atividade produtiva. Tais restrições são refletidas no custo de conversão, que representa um custo de oportunidade associado ao fato de que o uso marginal de terra implica em aumentos crescentes de pagamentos ao fator terra. A principal justificativa em utilizar esta modelagem da oferta de terra é que isso faz com que o processo de conversão de terra seja suavizado, em virtude dos efeitos provocados sobre o retorno da terra. Isso faz mais sentido considerando o fato de que mudanças envolvem custos de oportunidade. Para a representação da terra, esta estratégia se enquadra de forma adequada, uma vez que tal fator tem disponibilidade limitada, cujo nível de escassez é refletido em termos de custos de oportunidade crescentes. Este procedimento também foi adotado por Helming *et al.* (2006) e Eickhout *et al.* (2008).

A diferença entre a quantidade de terra potencial disponível e a quantidade de terra utilizada na produção agrícola também foi caracterizada em termos de um indicador de “desemprego” nacional e regional da terra. Isso foi estabelecido para indicar o movimento de utilização da terra em situações em que a economia tende a utilizar mais intensivamente terra na produção agrícola. Ao mesmo tempo, indica mudanças percentuais da conversão de terra de áreas de reserva para os outros usos, sendo, portanto, uma medida de desmatamento. Caso seja especificada de forma exógena, esta variável pode ser utilizada como instrumento de política na definição de uma trajetória de utilização de terra. Neste caso, a oferta de terra regional e nacional poderia ser mantida endógena. Por outro lado, a oferta de terra regional pode ser especificada como exógena, deixando que pelo menos uma das variáveis, “desemprego” de terra regional ou retorno regional relativo, seja determinada endogenamente.

4. Banco de Dados

4.1. Dados relativos ao *core* do modelo

Os dados utilizados para calibrar o modelo, no que diz respeito ao fluxo interregional de comércio de insumos intermediários, demanda por investimentos, demanda das famílias, demanda dos governos regionais e federal, demanda por variação de estoque, exportações, remuneração dos insumos primários, demanda por margens de transporte e impostos são relativos ao ano base de 2007. O fluxo de comércio interregional dos insumos intermediários foi gerado a partir de um extenso procedimento que envolveu ampla coleta de dados, compatibilização das informações de diferentes institutos de pesquisa e validação das etapas empregadas e das informações obtidas em cada uma. Resumidamente, todo o conjunto de dados obtido e utilizado para completar uma etapa na trajetória de pesquisa era trabalhado de forma a manter a consistência com as informações oficiais do Novo Sistema de Contas Nacionais (NSCN) do IBGE, em um estilo de abordagem *bottom-up*. Isto significa que os dados foram trabalhados a partir de escalas espaciais inferiores, sendo que as mesmas quando agregadas deveriam representar de forma consistente o comportamento da escala regional superior, a cada nível.

O nível mais detalhado das informações foi microrregional, cuja agregação refletia consistentemente os dados ao nível de estaduais, que, por sua vez, refletia os dados nacionais. Ao final das etapas de construção das informações relevantes a geração do fluxo de comércio, o resultado consistiu basicamente na obtenção de três matrizes ao nível microrregional: uma com o valor bruto da produção e outras duas referentes a demanda e a oferta de produtos domésticos. Matrizes de impedância para tipos específicos de produtos, representadas pela distância mínima entre pares de regiões de origem e destino, foram utilizadas como restrição ao sistema para fornecer a *proxy* necessária para direcionar a forma com que o comércio se estabelecia no cenário econômico-espacial do Brasil em 2007. O procedimento completo de geração do fluxo de comércio interregional foi documentado por Faria e Haddad (2011).

As demandas regionais por investimento, das famílias, dos governos, variação de estoque, margens, exportações e a remuneração dos fatores primários e impostos foram obtidas utilizando informações referentes ao ano de 2007 com base em pesquisas específicas como a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), a Pesquisa Anual de Serviços (PAS), a Pesquisa Industrial Anual (PIA), a Pesquisa Anual de Comércio (PAC) e a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC). Além disso, dados do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), estatísticas de comércio exterior do Sistema ALICEWEB do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MIDC) também foram utilizados. Estas informações foram computadas e projetadas com base na estrutura do modelo EFES (Haddad e Domingues, 2001).

A matriz nacional de insumo-produto, especificada com fluxos intersetoriais para 56 setores e 110 produtos de forma compatível com o NSCN, foi estimada com base no procedimento sugerido por Guilhoto e Sesso (2005) (Guilhoto, 2010). A estrutura do modelo EFES foi utilizada para a construção da matriz interregional de insumo-produto com a mesma especificação do NSCN. Inicialmente, o sistema intersetorial original foi agregado para representar 22 setores e 33 produtos da economia brasileira. No entanto, a análise realizada no presente estudo na avaliação de efeitos econômicos de mudanças climáticas e retratação de emissões de gases causadores do efeito estufa exigiu a execução de uma etapa extra. A desagregação dos setores e produtos de energia foi implementada neste caso para retratar as ligações entre estes setores e o restante da

economia. Neste sentido, foi utilizada a estrutura energética do modelo ENERGY-BR (Santos, 2010) para a desagregação dos setores e produtos energéticos. No caso, o setor e o produto de *Eletricidade e Gás, Água, Esgoto e Limpeza Urbana* do NSCN foi desagregado em outros 10 setores e produtos. Com isso, obteve-se um sistema com fluxo interregional e intersetorial para 31 setores e 42 produtos entre as 27 Unidades da Federação. Em seguida, houve a transformação para representar um sistema 42×42.

4.2. Dados do uso da terra

A especificação do uso da terra tanto em termos da demanda quanto da oferta física constituem os pontos centrais do trabalho. Os dados utilizados nesta análise são referentes às informações do mais recente Censo Agropecuário cujo ano base é 2006 para as Unidades da Federação (IBGE, 2010). Foram quatro os conjuntos de informações utilizados deste Censo: i) valor pago de arrendamento de terras pelos estabelecimentos; ii) área colhida, segundo classes da atividade agrícola; iii) utilização das terras nos estabelecimentos, por tipo de utilização, segundo os grupos e classes da atividade agrícola; e iv) valor das terras dos estabelecimentos. O primeiro conjunto de dados foi utilizado para calibrar as informações referente a demanda por terra. O terceiro conjunto foi utilizado para calibrar as informações sobre a oferta física de terra. O segundo conjunto de informações forneceu informações úteis no processo de calibração, servindo como *proxy* em alguns casos. O último conjunto de dados foi utilizado no cálculo das elasticidades de substituição no processo de conversão de terra no lado da oferta.

5. Estratégia de Integração

Para verificar os efeitos econômicos de mudanças climáticas a partir da modelagem desenvolvida neste trabalho, foi utilizada uma estratégia de integração em que os resultados de um modelo econométrico do uso da terra foram acoplados ao modelo EGC para a geração dos resultados. Tal modelo econométrico, desenvolvido nos estudos de Féres *et al.* (2009) e Barbosa (2011), considerou em sua especificação os efeitos de variação e temperatura sobre a alocação de terra de diferentes categorias de uso. Esta estratégia de modelagem representa um *Model Consistent Climatic Elasticities* para o Brasil, uma vez que considera as elasticidades implícitas da economia da relação

entre decisões de alocação uso da terra e a questão climática. Além disso, tal estratégia representa uma forma de introduzir fatores edafo-climáticos na modelagem econômica, visto que na geração das elasticidades outras características como altitude, potencial da terra para o desenvolvimento de atividades agrícola em diferentes classes de solo e presença/ausência de recursos hídricos foram considerados.

No entanto, vale destacar que para a utilização das elasticidades da alocação da terra às mudanças climáticas é feita a hipótese de que as decisões ótimas dos agentes representativos do modelo EGC são consistentes com as decisões ótimas do agente representativo da especificação econométrica. Neste sentido, apenas os elementos climáticos são considerados para fazer a integração, *ceteris paribus* os outros elementos levados em conta na especificação econométrica. O modelo EGC foi calibrado com elasticidades construídas a partir dos parâmetros estimados por Barbosa (2011). A forma de integração ocorreu adicionando-se termos tecnológicos exógenos na função de demanda por terra no modelo EGC para introduzir as variações percentuais na temperatura e precipitação dos cenários climáticos. Tais termos são multiplicados pelos seus correspondentes vetores de elasticidades regionais de cada cultura. A introdução destes termos teve como objetivo promover deslocamentos da função de demanda por terra em razão de variações climáticas. As variáveis climáticas utilizadas foram obtidas da *Climatic Center Unit (CRU/University of East Anglia)* referente a valores médios do período 1975-2005 e as projeções de temperatura e precipitação para os períodos 2010-2039, 2040-2069 e 2070-99 foram advindas do modelo regionalizado PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*) do CPTEC/INPE, segundo dois cenários distintos definidos pelo IPCC, A2 e B2.

A análise de política dos efeitos econômicos de mudanças climáticas consistiu na construção de choques que tiveram como base a variação de temperatura e precipitação para cada período de projeção em relação às informações climáticas do período 1975-2005 nos dois cenários considerados.

6. Resultados e Conclusão

A Tabela 2 apresenta os resultados das simulações dos efeitos de mudanças climáticas para os três intervalos de tempo e ambos os cenários, A2 e B2.⁷ Vale destacar novamente que tais simulações tiveram como base as variações de temperatura e precipitação para os três períodos de tempo em relação aos dados regionais de temperatura e precipitação do período 1975-2005.⁸

⁷ Como o fator terra, objeto de pelo qual se dá a análise dos exercícios de simulação, tem participação pequena em termos relativos no total do valor adicionado e, por conseguinte, pequena participação no total dos insumos de produção na atividade econômica, os impactos sobre as variáveis macroeconômicas tende a ser pequeno.

⁸ Foi utilizado nos exercícios de simulação o fechamento de longo prazo. O fechamento corresponde a hipóteses admitidas para o ambiente econômico. No fechamento de longo prazo, o capital é permitido variar endogenamente entre produtos e regiões, crescendo a mesma taxa do investimento. No mercado de trabalho, o nível de emprego agregado é determinado pelo crescimento populacional, taxas de participação da força de trabalho e taxa natural de desemprego. O salário real nacional é variável fazendo com que a distribuição da força de trabalho regional e entre produtos possa variar endogenamente. Isso implica que o trabalho é atraído por produtos e regiões mais competitivas. De forma análoga, o capital tende a se deslocar para produtos mais atrativos, de forma a manter as taxas de retorno em seu nível inicial. No mercado do fator terra, a oferta de permanece exógena, uma vez que não faz sentido, pelo menos neste trabalho, que terra seja gerada regionalmente. O que poderia ser considerado é o surgimento de terra como consequência da transformação de terras impróprias para uso na produção, como áreas alagadas, rios, construções e áreas urbanas etc, em terras passíveis de utilização na produção. Mas este não é o caso do presente trabalho. O retorno da terra é permitido variar, sendo que, juntamente com a taxa de "desemprego" de terra, determinam o uso da terra agregado. Além disso, a distribuição do uso da terra através das regiões e produtos é determinada endogenamente. Assim, a terra tende a ser alocada em usos que proporcionam maiores retornos relativos. Isso significa que o fator terra tem mobilidade no longo prazo em termos de intensidade em seu uso.

**Tabela 2. Resultados agregados de longo prazo dos efeitos de mudanças climáticas
(variação %)**

Variáveis	A2			B2		
	2010-39	2040-69	2070-99	2010-39	2040-69	2070-99
<i>Preços</i>						
Índice de preços de investimento	-0,0022	-0,0049	-0,0087	-0,0024	-0,0042	-0,0060
Índice de preços do consumidor	0,0024	0,0052	0,0091	0,0025	0,0044	0,0063
Índice de preços da demanda dos gov. regionais	-0,0055	-0,0119	-0,0211	-0,0058	-0,0102	-0,0146
Índice de preços da demanda do gov. federal	-0,0054	-0,0118	-0,0209	-0,0057	-0,0101	-0,0145
Índice de preços das exportações	0,0064	0,0141	0,0249	0,0068	0,0120	0,0172
Índice de preços do PIB	0,0008	0,0018	0,0032	0,0009	0,0015	0,0022
<i>Fatores Primários</i>						
Remuneração agregada do capital	-0,0034	-0,0074	-0,0131	-0,0036	-0,0063	-0,0090
Remuneração agregada do trabalho	-0,0086	-0,0189	-0,0333	-0,0092	-0,0160	-0,0231
Remuneração agregada da terra	2,2160	4,8439	8,6143	2,3407	4,1130	5,9371
Estoque de capital agregado	-0,0012	-0,0026	-0,0045	-0,0013	-0,0022	-0,0031
<i>Demanda Agregada</i>						
Consumo real agregado das famílias	-0,0050	-0,0109	-0,0192	-0,0053	-0,0093	-0,0133
Investimento real agregado	-0,0008	-0,0017	-0,0030	-0,0008	-0,0015	-0,0021
Demanda real agregada dos gov regionais	-0,0045	-0,0097	-0,0172	-0,0047	-0,0083	-0,0119
Demanda real agregada do gov. federal	-0,0050	-0,0109	-0,0192	-0,0053	-0,0093	-0,0133
Volume das exportações	-0,0103	-0,0225	-0,0399	-0,0109	-0,0192	-0,0276
<i>Outros indicadores agregados</i>						
PIB real	-0,0051	-0,0112	-0,0198	-0,0054	-0,0095	-0,0137
Emprego	0,0001	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002
Uso da terra	-0,3778	-5,2378	-6,9995	-1,6342	-3,5395	-5,1250
Indicador de desmatamento	0,2055	2,8901	3,8395	0,8946	1,9420	2,8127
Emissões uso de energia	0,009	0,022	0,051	0,009	0,017	0,030
Variação equivalente	-376,5	-820,21	-1446,1	-399,0	-698,4	-1003,3

Em geral, percebe-se que, em cada um dos cenários, os efeitos de mudanças climáticas tornam-se mais intenso a medida que o intervalo de tempo analisado tem horizonte mais distante. Com exceção das emissões do uso da terra, todas as outras variáveis não apresentaram mudança no sinal ao longo das simulações. Isso reforça a robustez do modelo na geração dos resultados. Além disso, os resultados do cenário B2, o qual prevê efeitos de mudanças climáticas mais brandos, têm magnitude menor do que os resultados do cenário A2, em geral. No intervalo de tempo mais próximo, isto é, para o período 2010-39, tem-se que os resultados de ambas os cenários são mais próximos do que para os intervalos posteriores. Isso indica que a medida que o tempo avança, os efeitos de mudanças climáticas se mostram mais evidentes, como reflexo das hipóteses admitidas em cada um dos cenários.

As variações de temperatura e precipitação fazem com que os índices de preços do investimento e das demandas dos governos regionais e federal diminuam. Por outro

lado, os índices de preços do consumidor, das exportações e do PIB aumentam. Como este último apresentou variação positiva, isto indica que o efeito líquido das mudanças climáticas provoca uma redução na renda real da economia, em observância aos resultados dos índices de preços do consumidor e das exportações. Tal contexto é consistente com a redução generalizada da demanda agregada e, por consequência, da atividade econômica. Isso também é refletido no mercado de fatores primários de produção, que apresentaram, com exceção do fator terra, variação negativa da remuneração. A variação positiva da renda da terra provoca redução do uso da terra, uma vez que tal fator de produção torna-se mais caro. Portanto, as mudanças climáticas, neste ambiente de simulação com modelagem EGC do uso da terra, tende a tornar o fator terra mais escasso, o que aumenta a competição pelo mesmo entre os usos possíveis.

Outros resultados indicam, em geral, redução do PIB real, como reflexo dos fatores mencionados acima, sobretudo com relação à variação negativa generalizada da demanda agregada. A variação equivalente também reflete este fato, indicando redução do bem-estar. Como o fator terra se torna mais caro, o indicador de desmatamento⁹ apresentou variação positiva, o que significa queda do desmatamento como reflexo da redução da atividade de extração vegetal ou das possibilidades de conversão de floresta de reserva legal para o uso agrícola. Neste sentido, a especificação do modelo pode estar influenciando este resultado, uma vez que foi limitada a conversão de áreas de floresta de reserva legal para a atividade agrícola de forma a manter os 20% do total da área de floresta regional, como previsto em lei. Por fim, em termos gerais, vale destacar que as emissões do uso de energia aumentam em virtude do deslocamento da atividade econômica, em parte, para os produtos de energia.

Vale destacar também alguns fatos relacionados às magnitudes dos efeitos das mudanças climáticas. O PIB real apresentou variação negativa cada vez mais intensa à medida que os períodos de tempo se tornam mais distante. Na simulação para o período 2010-39 foi projetado uma variação de -0,0051% do PIB no cenário A2 e -0,0198% para o período 2070-99 também neste cenário. Em relação ao cenário B2, apenas o

⁹ O indicador de desmatamento representa uma medida de conversão de terra, tanto de áreas de floresta utilizada em atividades de extração quanto de áreas de floresta de reserva, para uso em outras atividades agrícolas. Assim, o movimento nacional líquido deste indicador tende a ter sinal contrário ao do uso da terra.

resultado para o período 2070-99 é mais distinto do resultado do cenário A2 (-0,0137%). Isso ocorre em razão dos efeitos de mudanças climáticas serem mais evidentes sobre hipóteses distintas à medida que o horizonte de tempo se torna mais longo. Com relação a variação equivalente, projeta-se uma redução para o período 2070-99 de R\$ -1446,1 milhões no cenário A2 e R\$ -1003,3 milhões no cenário B2. O emprego teve variação positiva, embora próximo a zero. Tal variação ocorreu como consequência da redução da remuneração deste fator.

Pode-se concluir o trabalho enfatizando que estes resultados são observados considerando dois avanços metodológicos. Primeiramente, acerca do detalhamento do uso da terra na modelagem EGC, tanto do lado da demanda quanto do lado da oferta. Isso foi feito de forma distinta a apresentada na literatura, desenvolvida principalmente para análise global via GTAP. Nesta metodologia, o fator terra é caracterizado por Zonas Agro-Ecológicas que define a terra de acordo suas características físicas. No caso do presente trabalho, a terra é classificada de acordo com seu uso, distinguido em categorias de uso consistentes com a desagregação dos produtos do sistema econômico. Além disso, foi incorporada a estratégia de van Meijl *et al.* (2006) para tornar o processo de conversão física de terra mais realista ao considerar a escassez relativa de terra regional. Segundo avanço que pode ser pontuado diz respeito à integração dos modelos EGC e econométrico para realizar a análise de política de mudanças climáticas. O principal resultado observado utilizando esta metodologia indica queda no nível de atividade nacional em decorrência, em parte, da redução generalizada da demanda agregada da economia. Esta estratégia de modelagem, primeiramente de incorporação do uso da terra no modelo EGC e, em segundo, integração de modelos, produziu resultados importantes em termos de como as mudanças climáticas podem afetar a economia. A introdução do uso da terra no modelo EGC torna a análise mais adequada para este tipo de análise por acrescentar à metodologia as decisões dos produtores de quanto alocar terra dada mudanças exógenas na economia.

Referências

- Ahammad, H.; Mi, R. Land Use Change Modeling in GTEM: Accounting for forest sinks. *ABARE Conference paper 05.13*. Canberra: ABARE project 2781, 2005.
- Arrow, J. K.; Hahn, F. H. *General competitive analysis*. San Francisco: Holden-Day, 1971.
- Barbier, E. The economics of tropical deforestation and land use: an introduction to the special issue. *Land Economics*, v. 77, n. 2, p. 155-171, 2001.
- Barbosa, E. C. P. *Mudanças climáticas e o padrão do uso do solo no Brasil*. 78 f. Dissertação (Mestrado em Teoria Econômica) - Instituto de Pesquisas Econômicas (IPE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- 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>>.
- Burniaux, J. -M.; Truong, T. P. GTAP-E: An energy environmental version of the GTAP model. *GTAP Technical Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 16, 2002. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1203.pdf>>.
- Darwin, R.; Tol, R. S. J. Estimates of the Economic Effects of Sea Level Rise. *Environmental and Resource Economics*, n. 19, p. 113-129, 2001.
- Darwin, R.; Tsigas, M.; Lewandrowski, J.; Ranases, A. Land use and cover in ecological economics. *Ecological Economics*, n. 17, p. 157-181, 1996.
- Darwin, R.; Tsigas, M.; Lewandrowski, J.; Ranases, A. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptations. *Agricultural Economic Report*, n. 703, Washington: USDA, 1995.
- Dixon, P. B.; Bowles, S.; Kendrick, D. *Notes and problem in applied general equilibrium economics*. North-Holland: Amsterdam, 1980.
- Domingues, E. P.; Magalhães, A. S., Ricardo, R. M. Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste. *Texto para discussão*. Belo Horizonte: CEDEPLAR, n. 340, 2008.
- Eickhout, B.; van Meijl, H.; Tabeau, A.; Stehfest, E. The Impact of Environmental and Climate Constraints on Global Food Supply. *GTAP Working Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 47, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3678.pdf>>.
- EMBRAPA. *Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil*. 2008. Disponível em: <www.embrapa.br/publicacoes/tecnico/aquecimentoglobal.pdf>.
- FAO. *Land Cover Classification System: Classification Concepts and User Manual*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 2000. Versão atualizada (2005). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/008/y7220e/y7220e00.htm>>.

- Faria, W. R.; Haddad, E. A. Estimação das Elasticidades de Substituição do Comércio Regional do Brasil. *Texto para Discussão*. São Paulo: Nereus, FEA-USP, n. 01-2011, 2011.
- Féres, J.; Reis, E.; Speranza, J. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: *Anais do XXXVII Encontro Nacional de Economia*, Foz do Iguaçu, 2009.
- Ferreira Filho, J. B. S.; Horridge, M. Climate Change Impacts on Agriculture and Internal Migrations in Brazil. In: *13th Annual Conference on Global Economic Analysis*, Penang, Malaysia, 2010. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/5082.pdf>>.
- Fischer, G.; van Velthuizen, H.; Shah, M.; Nachtergaele, F. Global Agro-Ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results. *Research Report RR-02-02*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (UN), 2002. Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/SAEZ/index.html>>.
- Golub, A.; Hertel, T. W.; Lee, H. -L.; Rose, S.; Sohngen, B. The Opportunity Cost of Land Use and the Global Potential for Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture and Forestry. *GTAP Working Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 36, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3954.pdf>>.
- Guilhoto, J. J. M. *Matriz nacional de insumo-produto 2007*. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Econômicas, 2010.
- Guilhoto, J. J. M.; Sesso Filho, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. *Economia Aplicada*, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2005.
- Haddad, E. A. *Regional inequality and structural changes: lessons from the Brazilian Economy*. Ashgate: Aldershot, 1999.
- Haddad, E. A.; Domingues, E. P. EFES - Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004. *Estudos Econômicos*, v. 31, n. 1, 2001.
- Heistermann, M.; Müller, C.; Ronneberger, C. Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 114, p. 141-158, 2006.
- Helming, J.; Tabeau, A.; Kuhlman, T.; van Tongeren, F. Linkage of GTAP and DRAM for scenario assessment: methodology, application and some selected results. *Ninth Annual Conference on Global Economic Analysis*, Addis Ababa, 2006. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2502.pdf>>.
- Hertel, T. W. *Global Trade Analysis: modeling and applications*. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1997.
- Hertel, T. W.; Lee, H. -L.; Rose, S.; Sohngen, B. Modeling Land-use Related Greenhouse Gas Sources and Sinks and their Mitigation Potential. *GTAP Working Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 44, 2008b. Disponível em: <<http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3675.pdf>>.

- Hertel, T. W.; Rose, S.; Tol, R. S. J. Land Use in Computable General Equilibrium Models: An Overview. *GTAP Working Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 39, 2008a. Disponível em: <<http://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3659.pdf>>.
- Hertel, T. W.; Tyner, W. E.; Birur, D. K. The Global Impacts of Biofuel Mandates. *The Energy Journal*, v. 31, n. 1, p. 75-100, 2010.
- Hinchy, M.; Hanslow, K. *The MEGABARE model: interim documentation*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, 1996. Disponível em: <<http://www.abareconomics.com>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Rio de Janeiro - RJ. *Censo Agropecuário 2006*, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtml>>.
- IPCC: Summary for Policymakers. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Lee, H. -L. *Incorporating Agro-Ecologically Zoned Land Use Data and Land-based Greenhouse Gases Emissions into the GTAP Framework*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, 2004. Disponível em: <https://www.bioenergykdf.net/sites/default/files/nagendra/KC_090916160504.pdf>.
- Lee, H. -L. The impact of climate change on global food supply and demand, food prices, and land use. *Paddy and Water Environment*, v. 7, n. 4, p. 321-331, 2009.
- Lee, H. -L.; Hertel, T. W.; Rose, S.; Avetisyan, M. An Integrated Global Land Use Data Base for CGE Analysis of Climate Policy Options. *GTAP Working Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 42, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3673.pdf>>.
- Lee, H. -L.; Hertel, T. W.; Sohngen, B.; Ramankutty, N. Towards An Integrated Land Use Data Base for Assessing the Potential for Greenhouse Gas Mitigation. *GTAP Technical Paper*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 25, 2005. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2375.pdf>>.
- Margulis, S.; Dubeux, C. B. S. *Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades*, São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. Disponível em: <http://www.economiadoclima.org.br/files/biblioteca/Economia_do_clima.pdf>.
- McDougall, R.; Golub, A. GTAP-E: A Revised Energy Environmental Version of the GTAP Model. *GTAP Research Memorandum*. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, n. 15, 2007. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/4212.pdf>>.

- Meehl, G. A.; Stocker, T. F.; Collins, W. D.; Friedlingstein, P.; Gaye, A. T.; Gregory, J. M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J. M.; Noda, A.; Raper, S. C. B.; Watterson, I. G.; Weaver, A. J.; Zhao, Z.-C. Global Climate Projections. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K. B.; Tignor, M.; Miller, H. L. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Moraes, G. I.; *Efeitos econômicos de cenários de mudanças climáticas na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável*. 277 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- Nowicki, P.; van Meijl, H.; Knierim, A.; Banse, M.; Helming, J.; Margraf, O.; Matzdorf, B.; Mnatsakanian, R.; Reutter, M.; Terluin, I.; Overmars, K.; Verhoog, D.; Weeger, C.; Westhoek, H. *Scenar 2020 – Scenario Study on Agriculture and the Rural World*. European Commission. Brussels: Directorate-General Agriculture and Rural Development, 2007. Disponível em: <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/reports/scenar2020/index_en.htm>.
- Ronneberger, K.; Berrittella, M.; Bosello, F.; Tol, R. S. J. KLUM@GTAP: Introducing Biophysical Aspects of Land-Use Decisions into a Computable General Equilibrium Model a Coupling Experiment. *Environmental Modeling and Assessment*, v. 14, n. 2, p. 149-168, 2009.
- Sanghi, A., Alves, D.; Evenson, R.; Mendelsohn, R. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. *Economia Aplicada*, v.1, n.1, 1997.
- Sanghi, A.; Mendelsohn, R. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, v. 18, n. 4, p. 655-665, 2008.
- Santos, G. F. *Política energética e desigualdades regionais na economia brasileira*. 192 f. Tese (Doutorado em Teoria Econômica) - Instituto de Pesquisas Econômicas (IPE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- Tabeau, A.; Banse, M.; Woltjer, G.; van Meijl, H. Impact of the EU Biofuels Directive on the EU food supply chain. *113th EAAE Seminar “A resilient European food industry and food chain in a challenging world”*, Chania, 2009.
- van der Mensbrugge, D. *The Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium (ENVISAGE) Model*. Data & Research, World Bank, 2008. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTPROSPECTS/Resources/334934-1193838209522/Envisage7b.pdf>>.
- 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, p. 21-38, 2006.