

# Impactos da Política Americana de Estímulo aos Biocombustíveis sobre a Produção Agropecuária e o Uso da Terra<sup>1</sup>

Angelo Costa Gurgel<sup>2</sup>

**Resumo:** O presente estudo estima os impactos do crescimento da demanda de etanol no Brasil e nos EUA sobre a produção agrícola e o uso da terra. Utiliza-se um modelo econômico global capaz de representar os mercados agropecuários e de energia, as relações comerciais entre os países, a produção e demanda de etanol no Brasil e nos EUA e mudanças no uso da terra. Aumentos na demanda de etanol no Brasil e nos EUA são simulados de forma a refletir a política norte-americana e projeções da demanda brasileira para a próxima década. Os resultados sugerem que o Brasil deve ter uma especialização na produção de cana-de-açúcar e etanol em detrimento de outros produtos agropecuários. A área cultivada com cana-de-açúcar aumentaria de 5 milhões para 15 a 20 milhões de hectares em 2020, substituindo áreas de pastagens, de outras culturas e de silvicultura. Cerca de 2,5 milhões de hectares de Cerrado seriam convertidos para agricultura, enquanto a floresta tropical teria impactos consideráveis apenas se as barreiras comerciais às importações de etanol nos EUA fossem reduzidas.

**Palavras-chave:** Etanol, agricultura, uso da terra, equilíbrio geral.

**Abstract:** *This paper assesses the impacts of the increase in the ethanol demand in Brazil and in the United States on the agricultural production and land use. A global economic model representing agricultural and energy markets, trade among countries, ethanol supply and the demand in Brazil and in the US and changes in the land use is used. We simulate increases in the ethanol demand in Brazil and in the US to reflect the US policy and forecasts about the Brazilian demand for the upcoming decade. Results suggest a specialization in sugarcane and ethanol production in Brazil and decreases in other agricultural commodities. The area cultivated with sugarcane would move up from 5 million to 15 to 20 million hectares in 2020, replacing areas of pasture, other crops and forest. The Cerrado region in Brazil would lose 2.5 million hectares to agriculture, while*

---

<sup>1</sup> O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (FEA-RP/USP). E-mail: angelocg@usp.br

*tropical forests would only be considerably affected if the US trade barriers on ethanol imports were reduced.*

**Key-words:** *Ethanol, agriculture, land use, general equilibrium.*

**Classificação JEL:** C68, Q24, Q42, Q48.

## 1. Introdução

Os biocombustíveis têm apresentado notável expansão em produção e interesse nos últimos anos. Diversos fatores contribuem para esse fenômeno, como a demanda por fontes de energia de menor impacto no meio ambiente e que sejam capazes de reduzir emissões de gases de efeito estufa, o aspecto da segurança energética e menor dependência de importações de petróleo em diversos países, bem como a possibilidade de aumento na renda de pequenos agricultores em países em desenvolvimento. Como consequência desse maior interesse pelos biocombustíveis, vários impactos negativos têm sido previstos e atribuídos aos mesmos, tanto no que diz respeito à real capacidade de contribuir para reduzir impactos ambientais advindos do uso de combustíveis fósseis, quanto às pressões sobre preços de alimentos e conversão de ecossistemas naturais em área agrícola.

A expansão dos biocombustíveis nos últimos anos é notória. A produção mundial de etanol saltou de 20 bilhões de litros em 2001 para 50 bilhões de litros em 2007, enquanto a produção de biodiesel cresceu de 0,8 bilhão para 4 bilhões de litros no mesmo período (LICHT, 2008). Decisões políticas estão por trás de grande parcela dessa alta na produção, como obrigações de percentuais mínimos de consumo e de misturas aos combustíveis fósseis, subsídios e isenções de impostos à produção, entre outras<sup>3</sup>. Além disso, fatores como a alta no preço do petróleo observada nos últimos anos e o desenvolvimento dos automóveis *flex-fuel*, capazes de usar tanto gasolina quanto etanol, têm contribuído para a expansão dos biocombustíveis. Os *flex-fuel* constituem parcela considerável da frota de veículos brasileira e vêm dominando as vendas de automóveis novos em anos recentes. Todos esses fatores levam a crer que a tendência de aumento na produção de biocombustíveis deve manter-se ou mesmo acelerar-se nos próximos anos.

---

<sup>3</sup> Como exemplo dessas decisões políticas, o *U.S. Energy Independence and Security Act* requer que produtores de combustíveis nos EUA sejam capazes de fornecer no mínimo 21 bilhões de galões de biocombustíveis em 2022 (UNITED STATES CONGRESS, 2007). Na União Européia, o *European Union Biofuels Directive* requer que os biocombustíveis representem pelo menos 5,75% dos mercados de combustíveis líquidos em 2010 e 10% em 2020 (European Commission, 2007).

Entre as preocupações associadas à expansão dos biocombustíveis, destacam-se os impactos negativos advindos de mudanças no uso da terra. A elevação na demanda e produção de biocombustíveis tem ocorrido concomitante à redução da área plantada de culturas agrícolas tradicionais e pressão para expansão da fronteira agrícola pelo desmatamento e conversão de áreas nativas. O aumento nos preços dos alimentos nos últimos anos vem sendo atribuído à redução da produção agrícola de alimentos em prol de matéria-prima para biocombustível (MITCHELL, 2008). Elevações nas taxas de desmatamento em países como a Indonésia foram associadas às expectativas de venda de biodiesel de palma para a União Européia (UE) (FARGIONE *et al.*, 2008).

Diversos estudos recentes procuram mensurar impactos econômicos associados à expansão dos biocombustíveis. Entre eles, Reilly e Paltsev (2007) estimaram o potencial de produção de bioenergia para os próximos 50 anos, associando os requerimentos em termos de expansão da área agrícola. Gurgel *et al.* (2007) expandiram o trabalho de Reilly e Paltsev, considerando a modelagem formal de mudanças no uso da terra e incluindo a possibilidade de redução dos ecossistemas naturais. Tais estudos, contudo, consideraram apenas os biocombustíveis de origem celulósica, oriundos de tecnologia ainda não competitiva, não sendo capazes, portanto, de analisar os combustíveis da chamada “primeira geração”, como os produzidos a partir do milho, da cana-de-açúcar, da soja, do trigo e da palma, entre outros.

Já os estudos de Hertel *et al.* (2008) e Birur *et al.* (2008) mensuram os impactos de políticas mandatárias de produção de biocombustíveis pelos países em desenvolvimento sobre as economias e o uso da terra. Em outra linha de pesquisa, o estudo de Nagavaparu (2008) procura avaliar os impactos da expansão do etanol no Brasil sobre o desenvolvimento regional e o meio ambiente. Contudo, nenhum destes estudos considera a possibilidade de expansão das fronteiras agrícolas sobre as áreas de vegetação natural.

Diante desses trabalhos, percebe-se que algumas questões importantes sobre os biocombustíveis ainda permanecem sem resposta. Quais os prováveis impactos de uma vigorosa expansão dos biocombustíveis sobre o uso da terra nos países em desenvolvimento? É possível expandir a produção de biocombustíveis sem afetar diretamente os ecossistemas naturais? Haveria impactos indiretos dessa expansão sobre o deslocamento da produção de outras culturas e pastagens sobre as áreas de vegetação nativa? Sendo o Brasil um País de grande produção de biocombustível, como a expansão dessa produção afetaria outros mercados agrícolas e a ocupação do solo?

A presente pesquisa procura apresentar respostas para tais questões, levando em consideração aspectos econômicos pertinentes para modelagem de mudanças no uso da terra e na agropecuária. De forma mais específica, pretende-se estimar os possíveis impactos sobre a produção agrícola e sobre o uso da terra em cenários de expansão da produção de etanol no Brasil e nos Estados Unidos.

A próxima seção apresenta o modelo desenvolvido para investigar o problema de pesquisa e os cenários analisados. Os resultados do estudo são apresentados na terceira seção. A quarta e última seção apresenta as conclusões da pesquisa.

## 2. Metodologia

### 2.1. O Modelo

A produção de biocombustíveis envolve a interação de diversos agentes e setores econômicos, como a produção agrícola e industrial, os mercados de energia e transportes e as escolhas do consumidor final. Dessa forma, para se avaliar os impactos do crescimento de biocombustíveis sobre a economia de um país ou região é necessário utilizar um instrumental capaz de representar as diversas interações entre os agentes econômicos nos mercados agropecuários e de energia. Ainda, há que se representar as relações de comércio entre diferentes países, principalmente no que diz respeito a commodities agrícolas e matérias-primas. Diante desses aspectos, optou-se por utilizar, na pesquisa, a metodologia de modelagem computável de equilíbrio geral.

Modelos computáveis de equilíbrio geral são modelos econômicos que representam a economia de um ou vários países e regiões em um determinado momento no tempo, através de dados micro e macroeconômicos e relações matemáticas que descrevem o comportamento dos agentes (setores produtivos, consumidores e governo) em concordância com a teoria econômica. Sadoulet e De Janvry (1995) e Shoven e Whalley (1998) apresentam mais detalhes sobre essa classe de modelos econômicos.

O exercício de modelagem envolve a coleta e a construção da base de dados, a definição das relações econômicas entre os agentes e a simulação de choques no modelo. Utilizou-se como principal fonte de informação a base de dados do modelo *Global Trade Analysis Project - GTAP* (HERTEL, 1997; GTAP, 2001)<sup>4</sup>. A base de dados do GTAP representa a economia de diversos países e regiões do mundo através de matrizes de contabilidade social, que mostram os fluxos de compras e vendas de bens, serviços e fatores produtivos entre setores econômicos, consumidores finais, governo e mercados internacionais. Também apresenta os fluxos comerciais bilaterais entre países e as medidas de proteção

---

<sup>4</sup> O modelo GTAP foi criado em 1992 como um programa de pesquisa, com o objetivo de fornecer à comunidade científica uma base de dados e uma ferramenta para uso em análises quantitativas de comércio internacional, reduzindo os custos de entrada em trabalhos de equilíbrio geral de âmbito mundial. O modelo GTAP permitiu o estabelecimento de uma rede global de pesquisadores interessados em questões de análises de comércio multirregional.

comercial em vigor. Para a representação dos valores físicos de áreas agrícolas e nativas utilizou-se os dados do projeto GTAP-LAND (LEE *et al.*, 2005). Além disso, a produção de etanol exigiu cuidados extras na sua representação, uma vez que o GTAP original não representa os setores de bionergia. Os procedimentos adotados para incluir o setor de produção de etanol serão detalhados mais adiante.

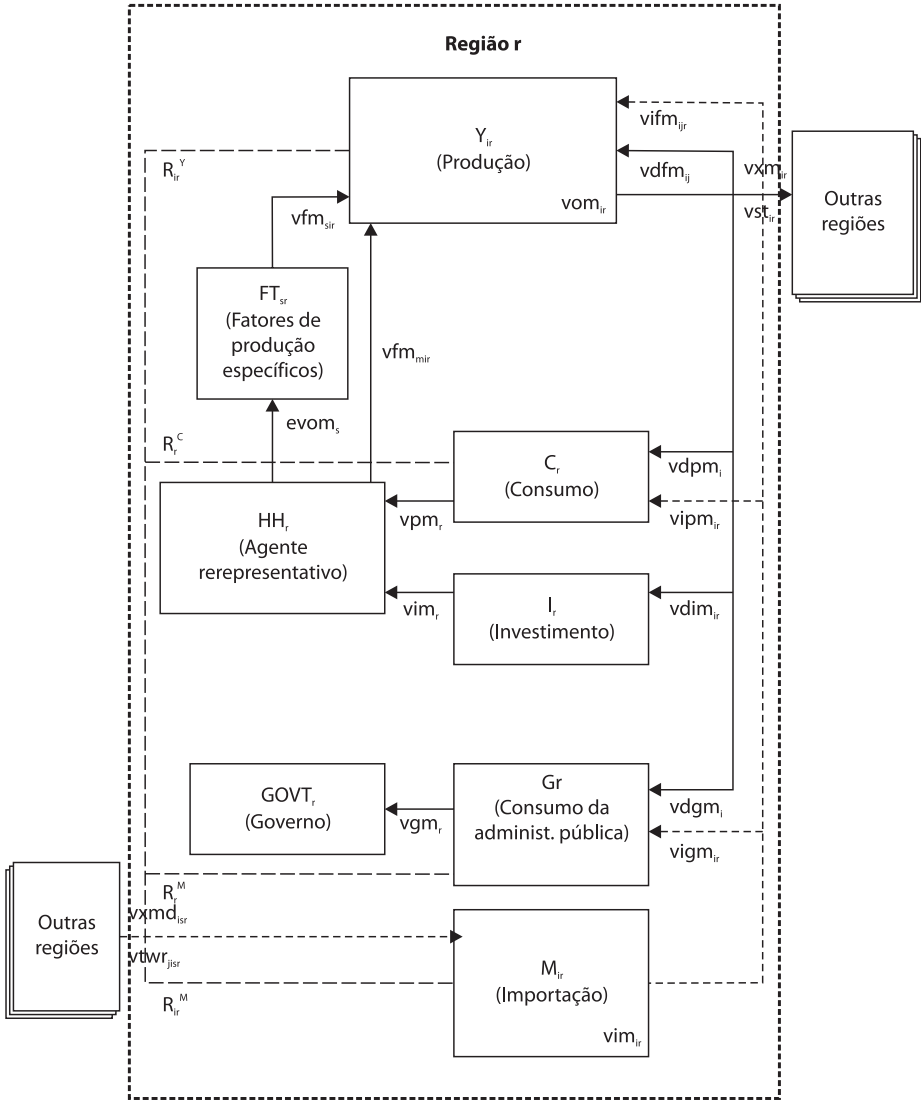
A representação das relações econômicas entre os agentes seguiu a adotada no modelo conhecido como *GTAPinGAMS* (RUTHERFORD e PALTSEV, 2000; RUTHERFORD, 2005). Este modelo foi desenvolvido a partir da base de dados do modelo GTAP, sendo construído como um problema de complementaridade não linear, em linguagem de programação GAMS (*General Algebraic Modeling System*, BROOKE *et al.*, 1998). O modelo *GTAPinGAMS* permite a modificação da sua estrutura original de acordo com os objetivos da pesquisa, o que é bastante conveniente para o presente estudo, uma vez que o modelo original não representa um setor de produção de etanol, nem a possibilidade de mudanças no uso da terra através da ampliação da fronteira agrícola sobre áreas de vegetação natural.

O modelo é estático, multirregional e multissetorial. A Figura 1 apresenta a estrutura geral do modelo. Os símbolos correspondem às variáveis do modelo econômico:  $Y_{ir}$  representa a produção do bem  $i$  na região  $r$ ;  $C_{vr}$ ,  $I_r$  e  $G_r$  indicam, respectivamente, o consumo privado, o investimento e o consumo público na região  $r$ ;  $M_{jr}$  representa as importações do bem  $j$  pela região  $r$ ;  $HH_r$  indica os consumidores na região  $r$  e  $GOVT_r$  representa o setor público ou governo na região  $r$ .  $FT_{sr}$  representa uma atividade através da qual as quantidades de um fator de produção específico a pouco setores (terra, por exemplo) são alocadas para cada setor que usa aquele fator.

Na Figura 1, 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. Mercados de bens domésticos e importados são apresentados em linhas verticais no lado direito da figura. A produção doméstica ( $vom_{ir}$ ) é distribuída entre exportações ( $vxml_{irs}$ ), 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 do GTAP6 referente à produção doméstica é apresentada pela equação 1.

$$vom_{ir} = \sum_s vxml_{irs} + vst_{ir} + \sum_j vdfm_{ijr} + vdpm_{ir} + vdgm_{ir} + vdim_{ir} \quad (1)$$

Figura 1. Fluxos no GTAPinGAMS6.



Fonte: Rutherford (2005).

O agregado de bens importados, representado por  $vim_{ir}$  é utilizado no consumo intermediário ( $vifm_{jr}$ ), no consumo privado ( $vipm_{ir}$ ) e no consumo do governo ( $vigm_{ir}$ ). A equação 2 apresenta a identidade contábil desses fluxos.

$$vim_{ir} = \sum_j vifm_{jr} + vipm_{ir} + vigm_{ir} \quad (2)$$

Os insumos à produção de  $Y_{ir}$  incluem insumos intermediários (domésticos e importados), fatores de produção móveis ( $vfm_{fir} \in m$ ) e consumo do agente público ( $vigm_{ir}$ ). 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 à renda total obtida com os mesmos (equação 3).

$$\sum_i vfm_{fir} = evom_{fr} \tag{3}$$

As condições de equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados internacionais requerem que as exportações do bem  $i$  pela região  $r$  ( $vxm_{ir}$ ) sejam iguais às importações do mesmo bem por todos os parceiros comerciais ( $vxml_{irs}$ ), como representado na relação 4.

$$vxm_{ir} = \sum_s vxml_{irs} \tag{4}$$

Da mesma forma, condições de equilíbrio se aplicam também aos serviços de transportes internacionais. A oferta agregada do serviço de transporte  $j$ ,  $vt_j$ , é igual ao valor dos serviços de transportes nas exportações (relação 5).

$$vt_j = \sum_r vst_{jr} \tag{5}$$

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 6.

$$vt_j = \sum_r vtwr_{jisr} \tag{6}$$

As receitas dos impostos e transferências, indicadas pela linha pontilhada da Figura 1, são representadas pela letra  $R$ . Os fluxos de impostos consistem de 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 à renda do agente representativo ( $R_r^{HH}$ ), bem como transferências do exterior ( $vb_r$ ). A restrição orçamentária do governo pode ser representada pela equação 7.

$$vgn_r = \sum_i R_{ir}^C + R_r^C + R_r^G + \sum_i R_{ir}^M + R_r^{HH} + vb_r \tag{7}$$

A restrição orçamentária do agente representativo relaciona a renda dos fatores de produção, descontadas dos pagamentos de impostos, às despesas de consumo e investimento privado, como na relação 8.

$$\sum_f evom_{fr} - R_r^{HH} = vpm_r + vim_r \tag{8}$$

Das equações anteriores é possível visualizar dois tipos de condição para a consistência da base de dados do GTAP: o equilíbrio nos mercados (oferta igual à demanda para todos os bens e fatores de produção) e o balanço da renda (renda líquida igual à despesa líquida). Um terceiro conjunto de identidades diz respeito aos lucros operacionais líquidos nos setores da economia. Na sua versão original, o modelo GTAP considera 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 se igualam a zero. Aplica-se tal condição a cada um dos setores produtivos e atividades, conforme as equações 9 a 15 a seguir.

$$Y_{ir}: \sum_f vfm_{fir} + \sum_j (vifm_{jir} + vifm_{jir}) + R_{ir}^Y = vom_{ir} \quad (9)$$

$$M_{ir}: \sum_s (vxd_{isr} + \sum_j vtwr_{jisr}) + R_{ir}^M = vim_{ir} \quad (10)$$

$$C_r: \sum_i (vdpm_{ir} + vipm_{ir}) + R_{ir}^C = vpm_r \quad (11)$$

$$G_r: \sum_i (vdgm_{ir} + vigm_{ir}) + R_{ir}^G = vgm_r \quad (12)$$

$$I_r: \sum_i vdim_{ir} = vim_r \quad (13)$$

$$FT_{fr}: evom_{fr} = \sum_i vfm_{fir} \quad f \in s \quad (14)$$

$$YT_j: \sum_r vst_{jr} = vt_j = \sum_{irs} vtwr_{jisr} \quad (15)$$

As relações apresentadas mostram as identidades econômicas do modelo GTAP. Para entender o funcionamento do modelo é preciso descrever como os agentes e setores se comportam. As condições de equilíbrio do modelo definem preços relativos e cada preço está associado a uma condição de equilíbrio de mercado. Os setores produtivos minimizam seus custos sujeitos às restrições tecnológicas. A produção é caracterizada pela escolha de insumos a partir da minimização de custos unitários. Utiliza-se funções de produção caracterizada como de elasticidade de substituição constante (*constant elasticity substitution functions* – CES), em que componentes do valor adicionado (fatores primários de produção) podem ser substituídos a partir de uma elasticidade de substituição definida com base na literatura econômica<sup>5</sup>, enquanto os insumos intermediários e o valor adicionado são combinados a partir de uma função Leontief (bens

<sup>5</sup> Adota-se, no presente estudo, as mesmas elasticidades do modelo GTAP original, como em Hertel (1997) e GTAP (2001).



complementares). Cada insumo intermediário é uma combinação, através das funções CES, entre uma parcela doméstica e importada do mesmo bem.

Cada bem importado sendo demandado em uma região é um agregado de bens importados de diferentes regiões. A escolha entre importações de diferentes parceiros comerciais é baseada na pressuposição de Armington, de que um bem importado de uma região é um substituto imperfeito do mesmo bem com origem em outras regiões. Margens de transporte definidas bilateralmente permitem a representação dos custos de transporte no comércio internacional. A substituição entre importações com diferentes origens é governada por uma elasticidade de substituição. Os fluxos comerciais estão sujeitos a subsídios (ou impostos) às exportações e tarifas às importações, sendo que o governo da região exportadora paga os subsídios (ou recebe os impostos), enquanto as tarifas são coletadas pelos governos dos países importadores.

As escolhas de consumo do agente privado se dão através de uma função Cobb-Douglas entre bens compostos, formados pela agregação de bens domésticos e importados. O consumo da administração pública é representado no modelo como uma agregação Leontief entre 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 entre si.

O fechamento macroeconômico do modelo considera que a oferta total de cada fator de produção é fixa e que os fatores são móveis entre setores dentro de uma mesma região, porém, não podem ser movidos de uma região para outra. O fator terra é específico aos setores agropecuários enquanto recursos naturais são específicos a setores de extração de recursos minerais e produção de energia. Não há desemprego no modelo, portanto, os preços dos fatores são flexíveis. Pelo lado da 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. O consumo do governo pode alterar com mudanças nos preços dos bens, assim como a receita advinda dos impostos está sujeita a mudanças no nível de atividade e no consumo. Mais detalhes sobre o funcionamento do modelo básico e a completa representação das equações podem ser encontrados em Gurgel (2007).

O modelo *GTAPinGAMS* utiliza a syntax do algoritmo MPSGE (*Modeling Programming System for General Equilibrium*), desenvolvida por Rutherford (1999). O MPSGE constrói equações algébricas que caracterizam condições de lucro zero para a produção, equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados e definição da renda para os consumidores do modelo na forma de um problema de complementaridade mista (*mixed complementary problem* – MCP, RUTHERFORD, 1995).

## 2.2. Base de dados e modificações do modelo original

A principal base de dados do modelo consiste das informações do GTAP. Agregou-se os dados do GTAP de forma a representar 16 países e regiões e 18 atividades/commodities, sendo adicionado ao modelo, posteriormente, mais um setor produtivo, o de produção de etanol (Tabela 1). Os parâmetros de elasticidades, que determinam as possibilidades de substituição entre fatores produtivos e insumos na produção e bens no consumo, são mantidos como na base original do GTAP6 (GTAP, 2001).

Para construção do setor de etanol, utilizou-se informações do *Energy Information Administration* (EIA, 2008) e do Ministério de Minas e Energia para os EUA e Brasil, respectivamente, correspondentes ao ano de 2001, e dados da pesquisa de Birur *et al.* (2008). Optou-se por representar a produção e consumo de etanol apenas nesses dois países, uma vez que foram responsáveis por cerca de 90% da produção mundial naquele ano<sup>6</sup>. A Tabela 2 apresenta as informações sobre a economia do etanol adicionadas ao modelo. De forma a manter a consistência dos dados originais, o setor de etanol foi desagregado do setor da indústria de químicos no caso do Brasil, e subtraído da indústria de alimentos no caso dos EUA, utilizando-se o procedimento adotado por Taheripour *et al.* (2007).

Tabela 1. Regiões e setores no modelo.

Países e Regiões	Setores e commodities
Brasil	Cana-de-açúcar
EUA	Milho e outros grãos
Argentina	Soja e oleaginosas
Uruguai	Arroz e trigo
Venezuela	Outras culturas
Chile	Pecuária
Colômbia	Silvicultura
Peru	Indústria de alimentos
Outros do Pacto Andino	Químicos
Outros da América do Sul	Indústria intensiva em energia
México	Outras indústrias
Outros da América Latina	Petróleo
Canadá	Gasolina e derivados do petróleo
UE	Carvão
Japão	Gás natural
Resto do Mundo	Eletricidade
	Transportes
	Serviços

Fonte: Base de dados do GTAP (2001).

<sup>6</sup> A introdução da produção e consumo em outras regiões do modelo complicaria demais a construção e solução do mesmo, que é sensível à quantidade de valores muito próximos de zero existentes na base de dados inicial.

Foram mantidas no setor de etanol as mesmas elasticidades de substituição observadas no modelo GTAP para os demais setores de culturas agrícolas, ou seja, 0,239 entre componentes do valor adicionado e zero (Leontief) entre insumos intermediários e o valor adicionado agregado. Para fins de comércio internacional, o etanol foi considerado como possuindo substituição imperfeita entre o produto doméstico e o estrangeiro (pressuposição de Armington), assumindo-se uma elevada elasticidade de substituição (igual a 12) entre os mesmos<sup>7</sup>. A elasticidade de substituição entre a gasolina e o etanol no consumo de combustíveis foi considerada como sendo igual a 2 no Brasil<sup>8</sup>, enquanto nos EUA foi considerada como zero (Leontief). Em outras palavras, etanol e gasolina seriam insumos complementares, a fim de possibilitar a simulação de choques que requerem quantidades pré-determinadas de energia provenientes do biocombustível na mistura com o combustível fóssil.

Os dados de uso da terra e cobertura do solo foram obtidos em Lee *et al.* (2005). Agregou-se as categorias naquele estudo de forma a representar cinco tipos de cobertura e uso da terra: culturas, pastagens, silvicultura, florestas naturais e campos e savanas. A Tabela 3 apresenta a área ocupada pelas categorias nas regiões do modelo. As três primeiras categorias representam atividades agrícolas. A categoria florestas inclui, além das florestas tropicais, temperadas e boreais, vegetações em que arbustos são predominantes, enquanto campos e savanas englobam desde áreas de gramíneas nativas até formações típicas de savana, como as do Cerrado brasileiro. Essas duas categorias não são utilizadas

---

<sup>7</sup> A elasticidade de substituição entre o produto doméstico e importado no caso do etanol para uso combustível é de difícil estimativa pelo curto período de existência de dados substanciais de comércio deste bem. Valores de elasticidade de substituição, entre outras categorias de bens domésticos e importados similares ao valor escolhido para o etanol, foram utilizados em estudos de comércio, como em Harrison *et al.* (2004), na presente pesquisa. Como o objetivo deste estudo é mensurar os impactos da expansão do etanol no Brasil e nos EUA, valores menores de elasticidade reduziriam os efeitos de mudanças na economia norte-americana sobre o mercado brasileiro. Análises de sensibilidade, detalhadas no Anexo, foram realizadas de forma a considerar valores alternativos para tal elasticidade.

<sup>8</sup> Assim como no caso do comércio internacional, a estimativa de parâmetros de substituição entre etanol e gasolina carece de uma série de dados suficientemente longa para expressar tal fenômeno. No caso brasileiro, os veículos *flex-fuel* presentes na frota permitem argumentar pela substituição perfeita entre o combustível fóssil e o etanol, em que o consumidor pode optar pela fonte de energia mais barata. Por outro lado, a obrigatoriedade da mistura do álcool à gasolina no Brasil determina uma certa complementariedade entre os dois combustíveis. Valores modestos de elasticidades obtidos por calibração (entre 1 e 1,35) têm sido utilizados em estudos similares, como em Birur *et al.* (2008) e Banse *et al.* (2008). Testes de sensibilidade revelaram que os resultados do modelo aqui desenvolvido são praticamente insensíveis para valores de elasticidades de substituição entre etanol e gasolina no intervalo de 1 a 3 para o Brasil.

para a produção econômica, mas têm o potencial de serem convertidas em áreas agrícolas. Outros usos e coberturas do solo, como áreas urbanas, terrenos pedregosos e formações rochosas, áreas alagadas e que não servem para uso agrícola não foram incluídos no modelo.

**Tabela 2.** Estatísticas da produção de etanol no ano base do modelo (2001).

Estatísticas	Brasil	EUA
Produção (US\$ bilhões)	5,3	2,5
Exportações (US\$ bilhões FOB)	0,4	-
Importações (US\$ bilhões CIF)	-	0,1
Produção (bilhões de litros)	11,5	6,7
Área total (milhões hectares)	4,9	30,3
Área p/ biomassa (milhões ha)	2,1	1,3

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2004), EIA (2008), Birur *et al.* (2008).

**Tabela 3.** Distribuição do uso da terra no modelo (milhões de hectares).

Países e regiões	Culturas	Pastagens	Silvicultura	Campos e savanas	Florestas	Total
Brasil	67,57	177,89	81,41	82,59	442,18	851,64
EUA	219,30	254,76	141,95	36,14	245,68	897,84
Argentina	35,88	119,43	25,94	62,27	25,12	268,64
Uruguai	3,57	10,32	2,13	5,09		21,12
Venezuela	2,76	20,79	24,29	15,15	28,59	91,59
Chile	5,87	17,65	14,23	5,56	13,04	56,35
Colômbia	5,78	22,59	17,73	7,15	64,25	117,49
Peru	6,01	23,23	20,48	8,02	57,05	114,79
Outros do Pacto Andino	7,88	34,81	26,85	16,00	40,96	126,49
Outros da América do Sul	2,30	17,99	19,65	12,10	33,53	85,56
México	25,69	86,18	45,17	11,52	32,26	200,83
Outros da América Latina	23,66	8,29	27,84	4,15	15,35	79,29
Canadá	56,16	14,69	106,79	6,28	521,75	705,68
UE	105,56	27,38	120,96	11,47	89,02	354,39
Japão	6,32	1,30	12,98		18,14	38,74
Resto do mundo	1.269,86	2.423,05	1.066,99	877,80	1.573,01	7.210,70

Fonte: Lee *et al.* (2005).

Equações de conversão de uma categoria de uso da terra em outra, bem como de expansão da fronteira agrícola pela redução das áreas de vegetação natural foram acrescentadas ao modelo. Para tal, utilizou-se o procedimento

proposto por Gurgel *et al.* (2007)<sup>9</sup>. Tal método permite manter a consistência entre as unidades físicas de área e a contabilidade econômica de equilíbrio geral. Tal procedimento constitui uma inovação no estudo de mudanças no uso da terra em modelos econômicos, uma vez que, tradicionalmente, tais mudanças são representadas apenas entre setores agropecuários que competem por um mesmo fator de produção homogêneo terra (REILLY e PALTSEV, 2007; NAGAVAPARU, 2008), ou fazem uso de funções de elasticidade de transformação constante (IANCHOVICHINA *et al.*, 2001; AHAMMAD e MI, 2005; GOLUB *et al.*, 2006)<sup>10</sup>, que não são capazes de manter a consistência física após simulações de choques no ambiente econômico, de forma que a soma das áreas antes do choque não se iguala à soma das áreas após o choque.

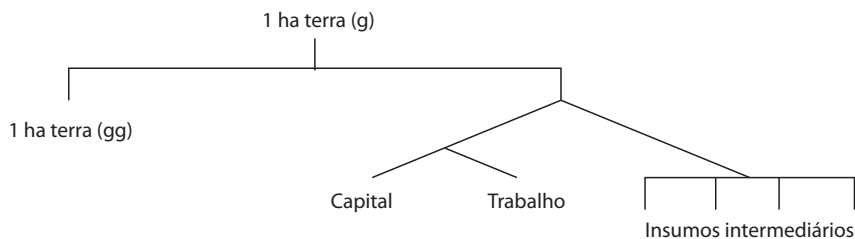
A Figura 2 representa o funcionamento das relações de conversão de uso da terra. Nessas relações, um hectare de terra de uma determinada categoria pode ser convertido em um hectare de outra categoria, sendo necessário adicionar insumos econômicos (capital, trabalho e insumos intermediários) em valor igual aos custos de conversão. O custo de conversão é determinado com base nas diferenças entre os valores econômicos de um hectare de terra de uma categoria em relação às demais, tomados como valores médios da terra em cada região e país da base de dados. Esse procedimento permite manter a pressuposição de lucro econômico igual a zero nos modelos de equilíbrio geral, em que uma atividade econômica só se torna viável se seus custos são compensados pela receita advinda da mesma, sendo os lucros contábeis considerados como parte da remuneração ao uso do fator capital. O valor do hectare das atividades agrícolas é determinado com base no fluxo total de serviços do fator produtivo terra presente na base de dados do GTAP, dividido pela área total ocupada pela atividade ou cobertura vegetal no ano base do modelo.

---

<sup>9</sup> Apesar de o modelo aqui adotado utilizar o procedimento de Gurgel *et al.* (2007) para representar mudanças no uso da terra, diversos aspectos tornam o modelo único e diferenciado daquele dos referidos autores. No modelo de Gurgel *et al.* (2007) a economia brasileira está agregada à economia da América Latina e a produção de biocombustíveis de primeira geração não é representada, o que impede o uso daquele modelo para a investigação de aspectos relacionados à demanda e oferta de etanol no Brasil.

<sup>10</sup> As funções de elasticidade de transformação constantes de uso da terra assumem que diferentes categorias de uso são geradas a partir de uma única área, havendo possibilidade de substituição imperfeita na produção entre essas categorias, em resposta a mudanças nos preços ou rentabilidade das mesmas.

Figura 2. Estrutura das funções de conversão do uso da terra.



Fonte: Gurgel *et al.* (2007).

No modelo, o valor de uso da terra representa as transações monetárias que remuneram o uso desse fator produtivo, inferido pelas agências estatísticas de cada país de forma a ser consistente com os dados de renda, custos com outros fatores e retorno econômico das atividades desenvolvidas sobre aquela área. Quanto às categorias florestas e campos e savanas, como estas não são utilizadas para produção econômica<sup>11</sup>, não existe renda associada às mesmas na base de dados. Para a representação delas no modelo de equilíbrio geral, deve-se obter o valor monetário de um hectare de terra nessas categorias. Para tal, dados regionalizados do custo marginal de acesso a áreas de vegetação nativa, valor do estoque de madeira nessas áreas, intervalo de rotação e regeneração da vegetação secundária, disponíveis por país em Sohngen (2007), foram utilizados. Esses dados são decompostos de forma a representar o valor do estoque de madeira presente nessas áreas e o valor de reserva da terra que seria obtido caso esta fosse deixada em descanso e que futuras retiradas de madeira sejam feitas a partir da regeneração da vegetação secundária. Esse valor de reserva foi considerado no modelo de equilíbrio geral como o valor da terra daquelas categorias ainda não economicamente exploradas, mas com potencial de serem utilizadas para agricultura (florestas e campos e savanas)<sup>12</sup>. A Tabela 4 apresenta

<sup>11</sup> Note que as atividades econômicas desenvolvidas em áreas florestais já se encontram computadas na categoria de uso da terra aqui denominada silvicultura.

<sup>12</sup> A avaliação de bens não transacionados em mercados, como podem ser considerados os serviços fornecidos pelos ecossistemas naturais, pode ser feita a partir de diversas metodologias alternativas, como discutido em Smith (1996) e Costanza *et al.* (1997). Contudo, não existe uma metodologia de ampla aceitação nem livre de controvérsias. Para o propósito do presente estudo, a valoração de áreas naturais é necessária para que se possa representar a possibilidade de conversão das mesmas em áreas agrícolas em modelos de equilíbrio geral. Portanto, segue-se a abordagem utilizada em Gurgel *et al.* (2007) e em concordância com a desenvolvida por Gouel and Hertel (2006) and Golub *et al.* (2008), na qual os custos de acesso a novas áreas são o principal fator a determinar o valor das áreas de cobertura naturais e a facilidade de conversão das mesmas para uso agrícola. Abordagens alternativas incluem o uso das já discutidas

os valores dos fluxos de serviços das diferentes categorias de uso da terra nas regiões do modelo obtidos pelos procedimentos descritos acima<sup>13</sup>.

A representação do valor econômico das áreas não utilizadas para a agricultura e a possibilidade de conversão da terra de uma categoria para outra permite considerar, de forma consistente, a competição da terra entre diferentes usos alternativos, como produção de alimentos, fibras, madeira e biomassa para combustíveis. Dessa forma, aumentos na demanda de etanol devem estimular a produção naquelas regiões com vantagem comparativa na produção do mesmo, fazendo com que áreas utilizadas para outras culturas e pastagens sejam convertidas para a produção de biomassa. Ao mesmo tempo, a queda na produção de alimentos pode elevar os preços dos mesmos e estimular outros países e regiões produtoras a suprirem o mercado, alterando a configuração da produção agrícola em um continente ou mesmo no mundo. Além disso, a pressão por alimentos e bioenergia pode estimular a expansão da fronteira agrícola sobre áreas de vegetação nativa, se os custos de conversão dessas novas áreas forem compensados pelo retorno das atividades agrícolas a serem desenvolvidas sobre essas novas áreas.

**Tabela 4.** Fluxos de renda da terra (US\$ por hectare).

Países e regiões	Culturas	Pastagens	Silvicultura	Campos e savanas	Florestas
Brasil	31,21	6,74	1,10	1,28	0,21
EUA	154,04	29,42	8,25	4,71	1,32
Argentina	66,06	8,82	1,35	1,59	0,24
Uruguai	43,03	30,11	4,28	5,72	0,81
Venezuela	452,21	52,48	0,37	9,45	0,07
Chile	191,36	19,54	2,11	3,13	0,34
Colômbia	246,05	39,35	1,32	7,87	0,26
Peru	172,59	13,70	0,65	2,60	0,12
Outros do Pacto Andino	88,41	8,20	0,40	1,56	0,08
Outros da Am. do Sul	123,30	5,92	0,31	1,18	0,06
México	274,32	17,08	7,02	3,08	1,26
Outros da Am. Latina	120,75	157,62	1,60	29,95	0,30
Canadá	44,70	69,25	6,80	134,34	13,18
UE	272,81	246,85	11,47	118,49	5,51
Japão	1,136,19	642,68	40,78	231,37	14,68
Resto do Mundo	104,60	17,82	4,27	7,31	1,75

Fonte: Resultados da pesquisa com base em Lee *et al.* (2005) e Sohngen (2007).

funções de elasticidade de transformação constante, bem como a inclusão de funções de oferta da terra, em que seu preço varia em proporção direta ao seu rendimento, como em Eickhout *et al.* (2008).

<sup>13</sup> Os valores de uso da terra representam fluxos de serviços. O verdadeiro preço ou valor de venda da terra pode ser obtido ao considerar-se a soma infinita desses fluxos descontados a uma taxa de juros de forma a obter o valor presente da terra.

### 2.3. Cenários simulados

Foram simulados três cenários para avaliar os efeitos do crescimento da produção de etanol sobre a produção agrícola e uso da terra. Procurou-se representar aumentos na demanda de etanol nos EUA de forma a refletir as exigências de legislação específica sobre a produção dos mesmos, e no Brasil, como consequência do aumento da frota de combustíveis *flex-fuel* no Brasil. São eles:

- Cenário 1 - aumento na demanda de etanol de forma a atingir níveis esperados para 2010 e 2012;
- Cenário 2 - aumento na demanda de etanol de forma a atingir níveis esperados para 2020 e 2022;
- Cenário 3 - aumento na demanda de etanol de forma a atingir níveis esperados para 2020 e 2022, e eliminação dos subsídios à produção de etanol e das tarifas de importação nos EUA.

Os choques de aumento na demanda de etanol foram aplicados de forma a representar a política norte-americana de estímulo à produção de etanol de milho, que visa atingir uma produção de 7,5 bilhões de galões de biocombustíveis em 2012, e cerca de 21 bilhões em 2022. Neste último, 15 bilhões seriam provenientes de etanol à base de milho, de acordo com o *Energy Independence and Security Act* de 2007 (UNIED STATES CONGRESS, 2007)<sup>14</sup>. No Brasil, os choques visam atingir o nível de produção previsto pela Unica (União da Indústria de Cana-de-Açúcar no Brasil), de cerca de 29 bilhões de litros em 2010 e 65 bilhões de litros em 2020 (UNICA, 2007). De acordo com tal estimativa, a expansão na demanda de etanol ocorreria devido ao aumento do consumo doméstico, à expansão da frota de veículos *flex-fuel* e ao maior consumo internacional de biocombustíveis.

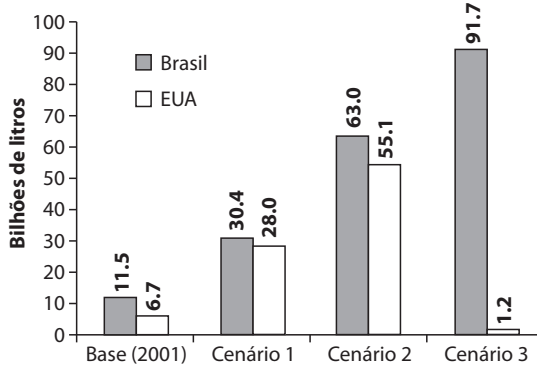
## 3. Resultados

Os impactos sobre a produção de etanol no Brasil e nos EUA nos três cenários podem ser visualizados na Figura 3. Como o modelo é estático e atemporal, tais aumentos em produção são possíveis pela realocação de fatores produtivos entre setores econômicos, o que vai de encontro ao objetivo da pesquisa de verificar como o crescimento da produção de biocombustíveis afetaria a produção agrícola e a competição pelo uso da terra.

---

<sup>14</sup> Mais detalhes sobre o *Energy Independence and Security Act* e as metas e mandatos para produção de combustíveis renováveis podem ser obtidos em: <http://www.epa.gov/otaq/renewablefuels/>



**Figura 3.** Produção de etanol no ano base e nos cenários simulados.

Fonte: Resultados da pesquisa.

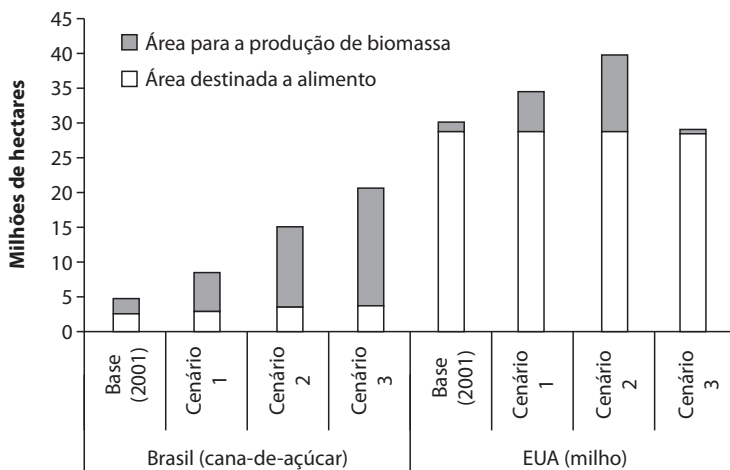
A produção brasileira de etanol obtida a partir dos choques é de cerca de 30 bilhões de litros em 2010 e 63 bilhões de litros em 2020. No caso dos EUA, os choques permitem alcançar a produção de 28 bilhões de litros (aproximadamente 7,5 milhões de galões) em 2012 e 55 bilhões de litros (15 bilhões de galões) em 2022. Tais aumentos seriam possíveis pela expansão da área cultivada com cana-de-açúcar e milho, que atingiriam cerca de 8,6 e 34,6 milhões de hectares no Brasil e nos EUA, respectivamente, no primeiro cenário (2010-2012) e 15 e 40 milhões de hectares no período 2020-2022. Destas áreas, entre 65,5% e 77,8% seriam dedicados à produção de matéria-prima para etanol no Brasil, e entre 16,3 e 11,1% nos EUA. A Figura 4 apresenta essas mudanças.

O terceiro cenário, apesar de pouco realista em relação à posição corrente do governo americano de incentivo (subsídios) à produção de etanol de milho e quanto à redução das barreiras comerciais, serve para ilustrar a necessidade de expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil caso as expectativas de livre comércio de etanol por parte do governo e produtores brasileiros fossem atendidas e as argumentações de vantagens ambientais da produção de etanol de cana sobre o de milho fossem aceitas em algum momento futuro. Este cenário evidencia a baixa competitividade do produto norte-americano frente ao brasileiro. A expansão de área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil atingiria os 20,7 milhões de hectares<sup>15</sup> e a produção, 91,7 bilhões de litros. Nos EUA, a produção de etanol seria praticamente quase toda substituída pelas importações do produto brasileiro. Os 91,7 bilhões de litros produzidos neste cenário ainda não seriam suficientes para abastecer os 5% do mercado mundial

<sup>15</sup> Para se ter uma idéia da demanda da cultura da cana-de-açúcar por área neste cenário, as culturas agrícolas ocupam cerca de 67 milhões de hectares no Brasil no ano base do modelo (Tabela 3).

de álcool combustível em 2025, que, segundo reportagem do Jornal Valor Econômico (VALOR ECONÔMICO, 2008), deve corresponder a cerca de 100 bilhões de litros.

Figura 4. Área cultivada com cana-de-açúcar e milho no ano base e nos cenários simulados.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Como esses vigorosos aumentos na produção de cana-de-açúcar no Brasil impactariam a agricultura e o uso da terra? A Tabela 5 apresenta as mudanças necessárias na produção agropecuária dos países representados no modelo para o primeiro cenário. O crescimento da produção da cana-de-açúcar no Brasil se daria às custas da produção das demais culturas, sendo o trigo e o arroz as mais afetadas. Nos EUA, observa-se um crescimento de cerca de 14,3% na produção de milho para atender à demanda da indústria de biocombustível. A produção agropecuária dos demais países seria muito pouco impactada, com aumentos negligíveis, geralmente inferiores a 1%, com exceção dos aumentos na produção de milho e outros grãos no Chile e no Canadá, superiores a 5%<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Canadá e Chile beneficiam-se de maiores aumentos em exportações de milho e outros grãos para os EUA, uma vez que são os principais países que exportam milho para os EUA no ano base do modelo.

**Tabela 5.** Mudanças na produção agropecuária (%) – Cenário 1.

Países e regiões	Cana-de-açúcar	Milho e outros grãos	Soja e oleaginosas	Arroz e trigo	Outras culturas	Pecuária	Silvicultura
Brasil	76.11	-1.26	-1.42	-3.18	-2.24	-1.54	-2.08
EUA	-0.08	14.25	0.06	-0.10	0.00	-0.08	-0.07
Argentina	-0.02	0.21	0.09	-0.03	-0.07	-0.01	0.02
Uruguai	-0.05	-0.02	0.06	-0.02	0.07	-0.04	0.00
Venezuela	0.00	-0.01	0.03	0.00	0.00	-0.01	0.02
Chile	0.01	6.96	0.02	-0.02	-0.04	-0.03	-0.04
Colômbia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Peru	0.00	0.09	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Outros do Pacto Andino	-0.01	0.04	0.11	-0.01	0.02	-0.01	0.01
Outros da América do Sul	-0.03	-0.07	-0.10	0.23	-0.01	-0.01	0.08
México	0.00	0.06	0.06	0.03	0.02	0.00	0.01
Outros da América Latina	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
Canadá	0.00	5.40	0.11	-0.02	0.04	-0.01	0.00
UE	0.00	0.34	0.16	0.01	0.02	0.00	0.00
Japão	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02
Resto do mundo	0.00	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01

Fonte: Resultados da pesquisa.

No segundo cenário, o aumento de 208% na produção de cana-de-açúcar no Brasil levaria a reduções ainda mais pronunciadas nas culturas de arroz e trigo (-9%), afetando também de forma negativa e considerável a cultura da soja (-4%) e outras culturas em geral (-6%), como mostra a Tabela 6. Os Estados Unidos aumentam a produção de milho e grãos em 32%. As variações na produção dos demais países do modelo continuam pouco expressivas, com exceção do Chile e do Canadá, como observado no primeiro cenário.

**Tabela 6.** Mudanças na produção agropecuária (%) – Cenário 2.

Países e regiões	Cana-de-açúcar	Milho e outros grãos	Soja e oleaginosas	Arroz e trigo	Outras culturas	Pecuária	Silvicultura
Brasil	208.08	-3.60	-4.05	-8.77	-6.23	-4.17	-5.65
EUA	-0.18	32.34	0.22	-0.22	0.00	-0.19	-0.16
Argentina	-0.05	0.48	0.25	-0.02	-0.18	-0.04	0.05
Uruguai	-0.13	-0.07	0.17	-0.02	0.18	-0.10	0.00
Venezuela	0.00	-0.03	0.08	0.01	0.00	-0.01	0.07
Chile	0.03	15.78	0.12	-0.04	-0.09	-0.06	-0.08
Colômbia	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.03	-0.01	0.01
Peru	0.01	0.20	0.03	0.02	0.02	0.00	0.01
Outros do Pacto Andino	-0.03	0.08	0.36	-0.03	0.06	-0.03	0.03
Outros da América do Sul	-0.07	-0.18	-0.21	0.54	-0.04	-0.03	0.21
México	-0.01	0.13	0.16	0.06	0.06	0.00	0.02
Outros da América Latina	0.00	0.05	0.07	0.00	0.04	0.00	0.01
Canadá	0.00	12.25	0.34	-0.05	0.10	-0.01	0.00
UE	0.00	0.80	0.51	0.02	0.07	0.01	0.00
Japão	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04
Resto do mundo	0.00	0.07	0.13	0.01	0.02	0.00	0.02

Fonte: Resultados da pesquisa.

No terceiro cenário, a produção de milho nos EUA reduz como consequência da substituição do etanol deste pelo da cana-de-açúcar (Tabela 7). Para atender à demanda de etanol dos EUA, o Brasil aumenta sua produção de cana-de-açúcar em mais de 300%. Todas as demais atividades agropecuárias no Brasil têm quedas pronunciadas na produção. Contudo, como observado nos cenários anteriores, a baixa na produção brasileira não provoca mudanças expressivas na produção dos demais países do modelo.

As mudanças na produção agropecuária observadas nos cenários permitem concluir que o crescimento da produção de etanol no Brasil e nos EUA, apesar de reduzir a produção de outras commodities agrícolas naqueles países, não deve provocar grandes mudanças na produção da maioria dos países das Américas e parceiros do Mercosul. Como não ocorrem mudanças em tarifas nos demais países, os efeitos das mudanças na produção brasileira e norte-americana são distribuídos de forma mais ou menos proporcional entre os demais países do modelo, afetando modestamente cada um deles. Além disso, o aumento na produção brasileira de cana-de-açúcar e norte-americana de milho representa um forte dreno de insumos agropecuários domésticos e importados, limitando a capacidade dos demais países em expandirem sua produção pela restrição de

insumos<sup>17</sup>. Dessa forma, não se verifica, em geral, substituição do papel do Brasil como exportador de commodities agrícolas pelos países parceiros do Mercosul ou mesmo demais países do modelo<sup>18</sup>.

**Tabela 7.** Mudanças na produção agropecuária (%) – Cenário 3.

Países e regiões	Cana-de-açúcar	Milho e outros grãos	Soja e oleaginosas	Arroz e trigo	Outras culturas	Pecuária	Silvicultura
Brasil	324.49	-6.96	-11.03	-17.66	-12.73	-5.08	-7.78
EUA	-0.09	-3.44	1.88	1.85	0.50	-0.04	0.15
Argentina	-0.20	-0.32	0.13	1.56	-0.16	-0.19	0.06
Uruguai	-0.07	-0.05	0.40	0.97	0.27	-0.06	-0.55
Venezuela	0.00	-0.06	0.19	-0.13	0.00	-0.03	0.14
Chile	-0.01	-1.82	1.35	-0.02	0.11	0.01	0.05
Colômbia	0.01	-0.09	-0.01	-0.30	0.01	0.01	0.04
Peru	0.02	0.02	0.17	0.02	-0.01	0.01	0.00
Outros do Pacto Andino	-0.02	-0.09	1.86	-0.25	-0.01	-0.03	0.05
Outros da América do Sul	0.05	0.22	2.15	-0.43	0.02	0.02	-0.10
México	0.01	-0.07	0.01	-0.31	0.01	-0.01	0.03
Outros da América Latina	0.03	-0.04	0.31	-0.23	0.05	0.02	0.00
Canadá	0.00	-1.41	1.12	-0.22	0.01	-0.03	0.00
UE	0.08	0.17	2.19	-0.06	0.23	0.06	0.02
Japão	0.01	0.00	0.00	-0.13	0.03	0.01	-0.02
Resto do Mundo	0.03	0.13	0.48	0.00	0.05	0.01	0.01

Fonte: Resultados da pesquisa.

As variações na produção agropecuária são refletidas em mudanças no uso da terra<sup>19</sup>. As Tabelas 8 a 10 apresentam essas mudanças em valores absolutos,

<sup>17</sup> Esse resultado deve-se, em parte, à rigidez do modelo em considerar que insumos intermediários, como fertilizantes, são complementares aos demais insumos, e ao fato de o modelo ser estático, impedindo o aumento na oferta dos fatores produtivos e novos investimentos em atividades, em resposta a expectativas de aumentos nos preços.

<sup>18</sup> Ressalva ao papel do Canadá e do Chile no suprimento de milho e outros grãos aos EUA, já discutido anteriormente.

<sup>19</sup> O modelo desconsidera ganhos de produtividade na agricultura, uma vez que tais ganhos devem ser diferenciados entre as atividades agropecuárias e visto que não existem estudos prevendo tais ganhos. Dessa forma, as mudanças no uso da terra aqui estimadas devem ser consideradas como valores máximos esperados na ausência de quaisquer ganhos de produtividade.

considerando-se as categorias de uso da terra e cobertura do solo. Vale notar que tais mudanças são consequência apenas dos choques simulados de aumentos na demanda de biocombustíveis, ou seja, não captam nenhum outro efeito ou tendência observada nas economias dos países 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 ao redor do mundo como consequência de outros fenômenos socioeconômicos.

Os resultados do primeiro cenário (Tabela 8) revelam mudanças consideráveis na área agrícola apenas nos EUA e Brasil. Nos EUA, esse aumento deve-se principalmente à conversão de áreas florestais. O modelo permite tal elevação na fronteira agrícola norte-americana por não se impor nenhuma restrição nas equações de conversão de uso da terra, que funcionam com base apenas na comparação dos custos e benefícios relativos da conversão. Em outras palavras, a conversão ocorrerá enquanto os custos diretos com a conversão mais as perdas monetárias associadas à atividade sendo convertida forem inferiores aos benefícios obtidos com a nova atividade desenvolvida sobre a área convertida.

**Tabela 8.** Mudanças no uso da terra (1000 ha) – Cenário 1.

Países e regiões	Culturas	Pastagens	Silvicultura	Campos e savanas	Florestas	Total
Brasil	5111	-2601	-1546	-964	0	0
EUA	8059	-328	-328	-313	-7090	0
Argentina	12	-12	5	0	-5	0
Uruguai	1	-1	0	0	0	0
Venezuela	0	0	6	0	-6	0
Chile	25	-5	-6	0	-14	0
Colômbia	1	-1	1	0	-1	0
Peru	1	0	0	0	-1	0
Outros do Pacto Andino	2	-2	3	0	-3	0
Outros da América do Sul	0	0	16	0	-16	0
México	8	-2	2	-1	-7	0
Outros da América Latina	3	0	1	0	-4	0
Canadá	383	0	-47	0	-336	0
UE	134	0	-24	-1	-109	0
Japão	0	0	2	0	-2	0
Resto do mundo	116	10	88	-39	-176	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

Porém, ao considerar-se que o processo de regeneração de vegetação de florestas tem predominado nos EUA nas últimas décadas e que áreas florestais

abundantemente disponíveis naquele país possuem potencial agrícola limitado (declividade acentuada e clima adverso, como nas regiões das Montanhas Rochosas e Alaska), a expansão de áreas agrícolas obtida no modelo seria difícil de observar-se na realidade, dificultando o alcance das metas de produção de etanol naquele país.<sup>20</sup>

No Brasil, a expansão da produção de cana-de-açúcar se dá às custas da redução das áreas de pastagens, de áreas de silvicultura e de conversão de campos e savanas em solo agrícola. Esses resultados indicam que a relação custo-benefício da conversão de áreas de florestas nativas em áreas de culturas é relativamente menos vantajosa que a das demais categorias, garantindo a preservação das áreas florestais no modelo em detrimento das demais. Os outros países representados no modelo registram mudanças modestas no uso da terra.

No segundo cenário, o maior incremento na produção de etanol, tanto nos EUA quanto no Brasil, provoca expansões mais pronunciadas nas áreas de culturas e reduções mais intensas nas áreas cobertas por outras categorias de uso da terra (Tabela 9). Cerca de 2,6 milhões de hectares de áreas de Cerrado no Brasil são transformadas em áreas de culturas neste cenário. Em termos percentuais, esse número indica perda de 3% do total da área de campos e savanas no País na base de dados em 2001. As áreas de florestas não são afetadas. Dessa forma, o modelo não indica aumento na pressão pelo desmatamento da floresta tropical como consequência da expansão dos biocombustíveis no Brasil. Contudo, sugere uma redução considerável no bioma dos Cerrados, que, segundo estimativas disponíveis em Machado *et al.* (2004), teriam perdido cerca de 1,4 milhões de hectares ao ano entre 1993 e 2002. Nos EUA, a conversão de florestas prevista pelo modelo chega a 16 milhões de hectares, ou cerca de 7% da cobertura florestal inicial na base de dados.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Neste estudo a representação de potencial limitado de conversão das áreas de florestas nativas nos EUA foi ignorada, uma vez que tal exercício exige grande quantidade de informações para sua representação. De outra forma, optou-se por realizar análises de sensibilidade em que a possibilidade de expansão da fronteira agrícola sobre áreas de vegetação nativas nos EUA e/ou em outras regiões do modelo é excluída. Tais análises, considerando-se o segundo cenário, revelaram que a produção de soja, arroz e trigo e outras culturas nos EUA teriam impactos negativos, pelo deslocamento do fator terra para a produção de milho para biomassa e pela impossibilidade de expansão da área agrícola total. Os resultados de produção agrícola nos demais países do modelo praticamente não seriam alterados. Os resultados dessa análise de sensibilidade de mudanças no uso da terra são apresentados no Anexo.

<sup>21</sup> Os resultados sobre mudanças nas áreas de vegetação natural são sensíveis à representação de mudanças no uso da terra no modelo, particularmente aos custos de conversão de áreas naturais em áreas de agricultura. Tais custos foram modelados de forma a representar que áreas de fronteira agrícola encontram-se mais distantes dos centros produtores e consumidores de biocombustível e, portanto, requerem

**Tabela 9.** Mudanças no uso da terra (1.000 ha) – Cenário 2.

Países e regiões	Culturas	Pastagens	Silvicultura	Campos e savanas	Florestas	Total
Brasil	13917	-7062	-4215	-2640	0	0
EUA	18314	-771	-766	-737	-16040	0
Argentina	31	-31	12	0	-12	0
Uruguai	3	-3	0	0	0	0
Venezuela	0	0	16	0	-16	0
Chile	58	-12	-13	-1	-31	0
Colômbia	1	-1	2	0	-2	0
Peru	2	1	2	0	-4	0
Outros do Pacto Andino	5	-5	7	0	-7	0
Outros da América do Sul	0	0	40	0	-40	0
México	19	-5	7	-3	-18	0
Outros da América Latina	10	0	2	0	-11	0
Canadá	882	0	-106	0	-776	0
UE	327	1	-57	-2	-269	0
Japão	1	0	4	0	-5	0
Resto do mundo	331	33	214	-106	-472	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

No terceiro cenário (Tabela 10), o aumento na área agrícola concentra-se todo no Brasil, visto que este passa a suprir etanol para o seu mercado e para a economia norte-americana como reflexo da queda das tarifas de importação e subsídios ao etanol nos EUA. Todas as categorias de uso da terra, incluindo florestas, têm reduções em suas áreas para a produção de culturas. O modelo prevê que 2,6 milhões de hectares de florestas (cerca de 0,6% da área inicial em 2001) e 2,5 milhões de hectares de áreas de Cerrado sejam convertidos em áreas de culturas. Esses valores podem ser comparados a estimativas de desmatamento da Amazônia brasileira de cerca de 2,3 milhões de hectares ao ano durante a década de 90 (FAO, 2001), e do Cerrado brasileiro, de cerca de 1,4 milhões de hectares ao ano, entre 1993 e 2002 (MACHADO *et al.*, 2004).

Considerando-se que os números aqui estimados refletem apenas os efeitos (diretos e indiretos) da expansão da produção de etanol da cana-de-açúcar, sem considerar o aumento da demanda por alimentos, tais números implicariam em uma pressão extra nas taxas de desmatamento dos ecossistemas naturais

---

mais investimentos em estradas e infraestrutura para tornarem viável a conversão de áreas naturais em agricultura comercial. Análises de sensibilidade, detalhadas no Anexo, mostram que as áreas de florestas e Cerrados teriam desmatamentos maiores quanto menores forem os custos de conversão.



atualmente observadas no Brasil. Dessa forma, a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil para satisfazer a demanda de etanol nacional e dos EUA em 2020 implicaria em uma redução na área de floresta tropical brasileira equivalente à área média desmatada de floresta anualmente na década de 90. Os demais países registram mudanças pouco expressivas no uso da terra.

**Tabela 10.** Mudanças no uso da terra (1.000 ha) – Cenário 3.

Tabelas e regiões	Culturas	Pastagens	Silvicultura	Campos e savanas	Florestas	Total
Brasil	19769	-8543	-6117	-2521	-2589	0
EUA	0	0	214	0	-214	0
Argentina	89	-89	16	0	-16	0
Uruguai	18	-6	-11	-1	0	0
Venezuela	0	0	32	0	-32	0
Chile	0	1	7	-1	-7	0
Colômbia	0	2	8	-2	-8	0
Peru	0	2	0	-1	0	0
Outros do Pacto Andino	4	-4	14	0	-14	0
Outros da América do Sul	19	2	0	-21	0	0
México	0	0	12	0	-12	0
Outros da América Latina	9	2	-1	0	-10	0
Canadá	0	0	0	0	0	0
UE	325	15	-44	-3	-293	0
Japão	0	0	0	0	0	0
Resto do mundo	931	235	10	-206	-971	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

## 4. Conclusões

Os resultados do presente estudo sugerem que, para atingir as metas de produção de etanol nos EUA e o crescimento esperado da demanda no Brasil, a agricultura brasileira será estimulada a uma relativa especialização na produção de bioenergia. A grande disponibilidade de terras para agricultura no País, seja pela existência de extensas áreas de pastagens subutilizadas ou pela imensa área coberta por vegetação natural, permitiria acomodar o crescimento exponencial da cultura da cana-de-açúcar nos próximos anos.

Portanto, confirma-se aqui que a expansão dos biocombustíveis no Brasil e nos EUA, no horizonte analisado (2020), é possível sem causar impactos consideráveis sobre o desmatamento da região amazônica. No entanto, redução pronunciada pode vir a ocorrer nas áreas de Cerrado. Estudos mais avançados

são desejáveis para que se acrescentem aspectos dinâmicos de expansão dos fatores produtivos, incrementos na produtividade agrícola e oportunidades de investimento nas economias, bem como de aumento na demanda por outros produtos agrícolas, quando da mensuração dos efeitos dos biocombustíveis sobre as mudanças na agricultura e no uso da terra no Brasil e no mundo.

Os resultados aqui obtidos devem-se, em parte, a algumas características do modelo utilizado. Os custos de conversão de áreas de florestas em áreas de agricultura no Brasil, por exemplo, são mais elevados que os observados no caso de outras categorias de uso do solo, uma vez que tais custos foram modelados como a diferença entre o valor da terra sob usos alternativos. Essa forma de modelar os custos de conversão capta, em certo grau, a realidade brasileira, em que as áreas de florestas se localizam longe demais dos centros produtores e consumidores de biocombustível e, portanto, requerem mais investimentos em estradas e em infraestrutura para tornarem a produção viável.

Além disso, sendo o modelo estático, não há evolução na produção dos demais insumos agropecuários e fatores produtivos, de forma que a expansão pronunciada de um setor só é possível pela realocação dos fatores e conseqüente contração dos demais setores. Em uma economia dinâmica, o crescimento da população, a acumulação 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. Por outro lado, em um modelo dinâmico seria possível considerar o crescimento da produtividade da terra, o que poderia contrabalançar a necessidade de desmatamento das áreas de vegetação nativas.

Como mensagem final deste trabalho, acredita-se que a formulação aqui desenvolvida pode servir como instrumento de representação das possibilidades de expansão da cultura da cana-de-açúcar para produção de etanol no Brasil, por seguir a racionalidade econômica de conversão primeiro das áreas de menor custo e facilidade de acesso, que seriam justamente as áreas de pastagens mais próximas à produção em curso, dada as práticas e infraestrutura agrícolas já estabelecidas nas mesmas.

Contudo, sugere-se cautela na interpretação dos resultados aqui obtidos, uma vez que a parameterização das equações de mudanças no uso da terra foi realizada com base em dados agregados em poucas categorias de uso do solo e que, portanto, não capta diferenças regionais e locais em produtividade, qualidade e preço de áreas de uso agropecuário e de vegetação natural. Além disso, o modelo não leva em conta outros fatores que podem afetar a dinâmica das mudanças no uso da terra, como aspectos sociais e culturais, políticas públicas e pressões internacionais.

## 5. Referências Bibliográficas

AHAMMAD, H.; MI, R. *Land Use Change Modeling in GTEM: Accounting for Forest Sinks*. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. In: EMF22: Climate Change Control Scenarios, Stanford University, California, 25-27 May 2005.

BANSE, M.; van MEIJL, H.; WOLTJER, G. *The impact of first and second generation biofuels on global agricultural production, trade and land use*. In: 11<sup>th</sup> Annual GTAP Conference, Helsinki, Finland, June 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3693.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2008.

BIRUR, D. K.; HERTEL, T. W.; TYNER, W. E. *Impact of biofuel production on world agricultural markets: a computable general equilibrium analysis*. GTAP working paper n.53, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/4034.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

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

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.; PARUELO, J.; RASKIN, R.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, p.253-260, 1997.

EICKHOUT, B.; VAN MEIJL, H.; TABEAU, A.; STEHFEST, E. *The impact of environmental and climate constraints on global food supply*. GTAP working paper 47, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2008. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3678.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION – EIA, 2008. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/fuelrenewable.html>>. Acesso em: 6 fev. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. *Impact Assessment of the Renewable Energy Roadmap – March 2007*, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, European Commission, AGRI G-2/WM D, 2007. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/markets/biofuel/impact042007/text\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/markets/biofuel/impact042007/text_en.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2008.

FAO. *Global Forest Resources Assessment 2000*. FAO, Rome, Italy, 2001.

FARGIONE, J.; HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; HAWTHORNE, P. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt, *Science*, v. 319, p.1235-1237, 2008.

GLOBAL TRADE ANALYSIS PROJECT – GTAP, 2001. Disponível em <<http://www.agecon.purdue.edu/gtap/>>. Acesso em: 30 jun. 2004.

GOLUB, A.; HERTEL, T. W.; LEE, H.; RAMANKUTTY, N. Modeling Land Supply and Demand in the Long Run. In: 9<sup>th</sup> Annual Conference on Global Economic Analysis, Addis Ababa, Ethiopia, 15 - 17 June 2006. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2745.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2008.

GOLUB, A.; HERTEL, T. W.; SOHNGEN, B. *Land use modeling in recursively-dynamic GTAP framework*. GTAP working paper 48, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2008. Disponível em <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/3679.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2009.

GOUEL, C.; HERTEL, T. W. *Introducing forest access cost functions into a general equilibrium model*. GTAP Research Memorandum 8, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2006. Disponível em <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2899.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

GURGEL, A. C. *Impactos da integração comercial sobre a agricultura familiar no Brasil*. Pesquisa e Planejamento Econômico, v. 37, n.1, p. 21-74, 2007.

GURGEL, A.; REILLY, J. M.; PALTSEV, S. Potential land use implications of a global biofuels industry. *Journal of Agricultural and Food Industrial Organization*, v. 5, article 9, 2007.

HARRISON, G. W.; RUTHERFORD, T. F.; TARR, D. G.; GURGEL, A. Trade policy and poverty reduction in Brazil. *The World Bank Economic Review*, v. 18, n. 3, p. 289-317, 2004.

HERTEL, T. W. (ed.). *Global trade analysis: modeling and applications*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 1997.

HERTEL, T. W.; TYNER, W. E.; BIRUR, D. K. *Biofuels for all? Understanding the global impacts of multinational mandates*. GTAP working paper n. 51, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2008.

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

LEE, H.; 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 25, Global Trade Analysis Project, West Lafayette, 2005. Disponível em: <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2375.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

LICHT, F. O. *World ethanol and biofuels report*, May 5, 2008.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. Relatório técnico não publicado. Conservação

Internacional, Brasília, DF. 2004. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço Energético Nacional 2004*, 2004.

MITCHELL, D. *A Note on Rising Food Prices*. Policy Research Working Paper 4682, The World Bank Development Prospects Group, 20 p., July 2008.

NAGAVAPARU, S. *Brazilian ethanol: a gift or a threat to the environment and regional development?* Stanford Institute for Economic Policy Research Discussion Paper no. 07-39, Stanford University, Stanford, 2008.

REILLY, J.; PALTSEV, S. *Biomass energy and competition for land*. MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 145, Cambridge, Massachusetts, 2007. Disponível em: <[http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC\\_Rpt145.pdf](http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt145.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2008.

RUTHERFORD, T. F. Extensions of GAMS for complementarity problems arising in applied economics. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, 1995.

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

RUTHERFORD, T. F. *GTAP6inGAMS: The dataset and static model*. 42 p., 2005, mimeo. Disponível em: <<http://www.mpsge.org/gtap6/gtap6gams.pdf>>. Acesso em: 9 out. 2006.

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, 64 p., 2000. Disponível em: <<http://www.mpsge.org/papers/gtaptext.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2002.

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

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. *Applying general equilibrium*. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 299 p.

SMITH, V. K. *Estimating Values for Nature: Methods for Non-Market Valuation*. Edward Elgar, Northampton, 1996.

SOHNGEN, B. *Global Timber Market and Forestry data Project*, 2007. Disponível em: <<http://aede.osu.edu/people/sohngen.1/forests/GTM/index.htm>>. Acesso em: 8 fev. 2008.

TAHERIPOUR, F.; BIRUR, D. K.; HERTEL, T. W.; TYNER, W. E. *Introducing liquid biofuels into the GTAP data base*. GTAP Research Memorandum n. 11. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2007.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *Bioenergia e Indústria Automobilística no Brasil e no Mundo*. In: Conferência Nacional de Bioenergia (Bioconfe), São Paulo, Brasil, 2007.

UNITED STATES CONGRESS. *Energy Independence and Security Act of 2007*, 2007. Disponível em: <[http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=110\\_cong\\_bills&docid=f:h6enr.txt.pdf](http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=110_cong_bills&docid=f:h6enr.txt.pdf)>. Acesso em: 9 mar. 2008.

VALOR ECONÔMICO. “Produção de etanol precisará aumentar 12 vezes para substituir 10% da gasolina”, Valor Online, 12/03/2007. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/ValorOnLine/MateriaCompleta.aspx?tit=Produ%C3%A7%C3%A3o+de+etanol+precisar%C3%A1+aumentar+12+vezes+para+substituir+10%+da+gasolina&codmateria=4198347&dtmateria=12+03+2007&codcategoria=19>>. Acesso em: 23 mai. 2007.

## ANEXO – ANÁLISES DE SENSIBILIDADE

A representação das tecnologias de produção de etanol e de mudanças no uso da terra e expansão da fronteira agrícola na modelagem de equilíbrio geral requerem o uso de pressuposições e parâmetros econômicos muitas vezes não disponíveis na literatura e, portanto, passíveis de questionamento e sujeitos a controvérsias e testes de validade.

De forma a verificar se os resultados aqui obtidos são robustos e como as pressuposições adotadas afetariam os resultados obtidos, procurou-se realizar diversos testes simples de sensibilidade. Escolheu-se aqui apresentar os resultados mais relevantes destes testes, considerando-se geralmente apenas o segundo cenário simulado e os resultados sobre mudanças no uso da terra no Brasil.

No primeiro teste de sensibilidade, considerou-se a impossibilidade de expandir a fronteira agrícola sobre os ecossistemas naturais em todas as regiões do modelo. Os resultados mostram que o aumento na área de culturas agrícolas no Brasil é ligeiramente inferior que na formulação original do modelo, em que pode haver conversão de áreas naturais em agrícolas (Tabela A1). Esse resultado indica que o crescimento na produção de etanol no Brasil e que as mudanças na produção agrícola são pouco sensíveis quanto à pressuposição de expansão da fronteira agrícola. Sem possibilidade de expansão da fronteira, as áreas de pastagens e de silvicultura acabam registrando maiores reduções para dar espaço à produção de biomassa para etanol, sem, contudo, haver mudanças significativas nos demais resultados.

O segundo teste de sensibilidade procura avaliar se a impossibilidade de expandir a fronteira agrícola nos EUA afetaria as mudanças no uso da terra no Brasil. Para tal, considerou-se que a conversão de áreas naturais em áreas agrícolas só não seria possível nos EUA. Tal restrição à expansão da fronteira agrícola nos EUA limitaria a capacidade de expandir a produção de milho para etanol e poderia estimular um aumento na importação do biocombustível do Brasil, levando ao aumento da produção brasileira de cana-de-açúcar e etanol. O resultado deste teste revela mudanças pouco expressivas na produção e exportações de etanol no Brasil no segundo cenário quando da incapacidade dos

EUA em aumentar sua área agrícola. (Tabela A1). Campos e savanas brasileiros teriam um ligeiro aumento na sua conversão para áreas de culturas, enquanto áreas de pastagens reduziriam menos. Áreas de florestas naturais no Brasil continuariam não sendo afetadas.

Os resultados deste teste devem-se às elevadas tarifas de importação de etanol impostas pelos EUA em comparação com as tarifas sobre outros produtos agrícolas, o que acaba por levar à expansão da produção de milho nos EUA em detrimento de outras culturas agrícolas e de áreas de pastagens, com aumento nas importações norte-americanas de produtos agrícolas de origem brasileira.

Um terceiro teste de sensibilidade procurou avaliar o papel da elasticidade de substituição entre etanol importado e o produzido nos EUA. O valor dessa elasticidade no modelo foi assumido como igual a 12, de forma a representar o etanol como uma commodity padronizada e bastante homogênea no mercado internacional. Na análise de sensibilidade, este parâmetro foi reduzido para 3, o que implica considerável diminuição na capacidade de substituição do modelo original. Essa menor capacidade de importar etanol pelos EUA praticamente não altera os resultados de mudanças no uso da terra no Brasil (Tabela A1), bem como de produção agrícola no segundo cenário. Contudo, no terceiro cenário, de redução das tarifas de importação impostas pelos EUA, a menor elasticidade acaba por limitar as importações americanas do etanol oriundo do Brasil, levando a mudanças menos pronunciadas no uso da terra (resultados não apresentados aqui<sup>22</sup>). Isso indica que, mesmo que os EUA eliminassem as tarifas às importações e subsídios ao etanol, os impactos sobre a produção brasileira e mudanças no uso da terra poderiam ser pequenos se houvesse pouca capacidade do etanol brasileiro para substituir de fato o produto americano. A capacidade de substituição dependeria de aspectos que vão desde a padronização e qualidade do produto até os relacionados aos gostos e preferências dos consumidores norte-americanos.

---

<sup>22</sup> Como exemplo, o aumento na área de culturas no terceiro cenário passaria de 19,8 milhões de hectares no modelo original para apenas 15,2 milhões de hectares sob elasticidade de substituição entre etanol doméstico e importado igual a 3, nos EUA. Da mesma forma, a redução na área de florestas cairia de 2,6 milhões de hectares para apenas 0,1 milhão de hectares.



**Tabela A1.** Mudanças no uso da terra (1.000 ha)  
sob pressuposições alternativas – Brasil.

Modelo original	Sem mudanças nas áreas de vegetação natural	Sem mudanças nas áreas de vegetação natural nos EUA	Elasticidade substituição de import. do etanol nos EUA = 3	Custos de conversão de áreas naturais		
				Alto	Médio	Baixo
Culturas	13,917	13,849	13,975	13,931	13,959	14,023
Pastagens	-7,062	-7,785	-7,011	-6,975	-6,796	-6,413
Silvicultura	-4,215	-6,064	-4,221	-4,003	-3,572	-2,546
Campos e savanas	-2,640	0	-2,742	-2,953	-3,106	-3,148
Florestas	0	0	0	0	-486	-1,916
Total	0	0	0	0	0	0

Fonte: Resultados da pesquisa.

Por fim, procurou-se avaliar se os custos de conversão de áreas de cobertura natural (florestas e campos e savanas) em áreas agrícolas afetariam os resultados do modelo. Para tal, alterou-se o preço por hectare das áreas de vegetação natural, de forma a diminuir a diferença entre o preço destas e das demais categorias de uso da terra no País, uma vez que tal diferença define o custo de conversão entre diferentes categorias de uso da terra no modelo.

Três cenários de custos de conversão, inferiores aos custos observados no modelo original, foram considerados, denominados de “alto”, “médio” e “baixo” custo. Esses níveis implicam em reduções nos custos de conversão da floresta natural em áreas de silvicultura de cerca de 22%, 72% e 100%, respectivamente, em relação ao modelo original, enquanto os custos de conversão da floresta natural em pastagens reduziriam em 4%, 10% e 23%. A conversão da floresta em áreas de culturas teria seu custo reduzido em 1%, 2% e 5% nos três cenários, respectivamente. Os resultados da análise de sensibilidade do custo de conversão das florestas revelam que o modelo é bastante sensível a tais custos (Tabela A1). Quanto menor o custo de conversão, maior o desmatamento das áreas naturais para expansão da fronteira agrícola, associados à menor conversão de áreas de pastagens e de silvicultura. Dessa forma, sob custos mais baixos de conversão, 3,1 milhões de hectares de áreas de Cerrado seriam convertidos em áreas de culturas, ao invés de apenas 2,6 milhões de hectares na formulação original do modelo, enquanto as áreas de florestas convertidas em agrícolas passariam de 0 a 1,9 milhão de hectares. Tais resultados mostram que as mudanças no uso da terra no modelo dependem, em grande parte, dos preços relativos e custos associados à conversão de cada categoria de uso da terra.