

# ANÁLISE ECONÔMICA DA LIMITAÇÃO DO DESMATAMENTO NO BRASIL UTILIZANDO UM MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL\*

Caroline de Souza Rodrigues Cabral\*\*

Ângelo Costa Gurgel\*\*\*

**Resumo** – Com o advento do fenômeno de aquecimento do planeta, os países que mais emitem os gases de efeito estufa (GEE) têm sofrido forte pressão internacional para que reduzam tais emissões. No caso do Brasil, grande atenção é voltada ao desmatamento, um dos maiores responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono. Com isso, o país se comprometeu a reduzir suas emissões entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas para 2020. Para atingir essa meta, uma das medidas a serem tomadas é a redução de 80% do desmatamento na Amazônia Legal e de 40% do desmatamento no Cerrado. Em paralelo, a produção de alimentos é um dos maiores desafios do mundo moderno, e segundo a OCDE e a FAO, o Brasil é o país com maior potencial de aumentar a produção agrícola. Ademais, dados mostram que o agronegócio é um setor fundamental da economia brasileira tanto em termos de geração de renda quanto para promoção de divisas. No caso de cessar o desmatamento, provavelmente a agropecuária pode ser bastante atingida, já que a sua expansão atual se dá sobre áreas do Cerrado e da Amazônia. Uma das hipóteses é que frear o desmatamento implicaria em menor produção agropecuária e de alimentos, e menor renda no longo prazo. Esse artigo trata dos impactos econômicos de uma política restritiva de desmatamento sobre o setor agropecuário e a economia nacional, utilizando um modelo de equilíbrio geral computável. Os resultados apontam para perdas pouco expressivas em termos de PIB do cenário de referência em relação ao cenário de política de limitação do desmatamento, sendo maior o efeito sofrido pela produção agrícola, pecuária e alimentícia.

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

**Abstract** - With the advent of the phenomenon of global warming, the greenhouse effect, countries that emit more greenhouse gases (GHGs) have suffered strong international pressure to reduce such emissions. In Brazil, much attention is focused on deforestation, one of the largest emitters of carbon dioxide. Therefore, Brazil has committed to reducing its emissions by 36.1% and 38.9% compared to projected emissions for 2020. In order to accomplish this, the deforestation in the Amazon be reduced by 80% and in the Cerrado (savannah) by 40% by the year 2020. Simultaneously, food production is one of the biggest challenges of the modern world, and second the OECD and FAO, Brazil is the country with the greatest potential to increase agricultural production. Moreover, data show that agribusiness is a key sector of the Brazilian economy in terms of income generation and promotion of foreign exchange. But to reduce deforestation, agriculture and livestock can be quite reached, since its expansion nowadays is happening on Cerrado and Amazon areas. One hypothesis is that halting deforestation would imply lower production of these sectors and food, and lower income in the long run. This article discusses the economic impacts of a restrictive policy of deforestation on the agricultural and livestock sector and the national economy using a computable general equilibrium model. The results point to little losses in GDP from the limiting deforestation scenario compared to the baseline, but greater impacts in the agricultural, livestock and food sector.

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

**Classificação JEL:** Q15, Q52, C68.

**Área Anpec:** Área 10 – Economia Agrícola e do Meio Ambiente

---

\* Trabalho realizado com auxílio financeiro e bolsa do CNPq e da Fundace.

\*\* Mestre em Economia Aplicada pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo – FEARP/USP, ca-cabral@hotmail.com

\*\*\* Professor adjunto e coordenador do Mestrado Profissional em Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas – EESP/FGV, angelo.gurgel@fgv.br

## Introdução

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

Com o atual cenário, os países que mais emitem os gases de efeito estufa têm sofrido forte pressão internacional para que reduzam tais emissões. No caso do Brasil, grande atenção é voltada à questão do desmatamento, um dos maiores responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) - principal gás de efeito estufa. Segundo dados do último Inventário Brasileiro das Emissões, 77% das emissões de CO<sup>2</sup> em 2005 foram causadas por mudanças do uso da terra e florestas, que cresceram 64% em relação a 1990 (BRASIL, 2010b). Isso foi devido ao elevado índice de desmatamentos registrados na Amazônia e no Cerrado na década passada. Estimativas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) provenientes do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) apontam que mais de 700 mil km<sup>2</sup> já foram desmatados na Amazônia Legal, o que corresponde a 17% da cobertura original da floresta. Desse total, 183,5 mil km<sup>2</sup> (cerca de 26%) foram desmatados na última década. No Cerrado, dados do programa Monitoramento do Bioma Cerrado do Ministério do Meio Ambiente mostram que a taxa anual de desmatamento foi de 14.179 mil km<sup>2</sup> entre 2002 e 2008 e de 7.637 mil km<sup>2</sup> em 2009. As áreas naturais remanescentes diminuíram de 55,73% do bioma em 2002, para 51,54% em 2008.

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

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

Ademais, dados mostram que o agronegócio é um setor fundamental da economia brasileira tanto em termos de geração de renda quanto para promoção de divisas. Conforme dados do IBGE, o setor foi responsável por mais de 22% do PIB do país em 2011, sendo que a agropecuária correspondeu a 28,8% do PIB do agronegócio, a indústria e distribuição responderam por 59,4% e, insumos para agropecuária, 11,8%. Já as exportações do agronegócio, segundo o Ministério da Agricultura representaram 36,9% do total das exportações em 2011, gerando um saldo de R\$ 94,591 milhões para a balança comercial.

No caso de cessar o desmatamento brasileiro, provavelmente o setor mais atingido será o setor que mais faz uso da área desflorestada, ou seja, a agropecuária. Segundo levantamento da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a pecuária é o maior responsável pelo desmatamento da Amazônia, ocupando mais de 62% da área desmatada na região (EMBRAPA e INPE, 2011). A pecuária bovina é o uso do solo mais importante em todos Estados da Amazônia, que em geral, tem apresentado crescimento em todos eles, e isso torna a criação de gado a atividade econômica de maior impacto em toda a região (RIVERO *et al.*, 2009). Quanto ao Cerrado, a expansão da atividade agropecuária pressiona cada vez mais as áreas remanescentes de vegetação nativa. Considerado a última fronteira agrícola do planeta, o Cerrado ocupa 21% do território nacional, e cerca de metade dos dois milhões de quilômetros quadrados originais foram transformados em pastagens plantadas, culturas anuais e outros tipos de uso (KLINK e MACHADO, 2005).

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

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

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

Dessa forma, o objetivo do presente artigo é estimar os impactos econômicos de políticas restritivas ao desmatamento sobre o setor agropecuário e a economia nacional, uma vez que essa discussão é recente e ainda carece de estudos mais abrangentes. Para esse propósito é utilizado um modelo de equilíbrio geral computável, capaz de considerar as relações entre os diferentes setores da economia e uma ampla gama de distorções de políticas. Pretende-se verificar como essas restrições vão agir sobre a renda agregada, o nível de atividade e os fluxos comerciais dos setores agropecuários e de alimentos e as mudanças no uso da terra, mais especificamente, em relação às áreas de pastagens, cultivos e florestas naturais. Assim, o estudo pretende orientar a formulação de políticas ambientais e econômicas coordenadas, bem como verificar algumas consequências de tais políticas.

## **1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DADOS**

### **1.1. Características gerais e dados**

O método de análise utilizado nesse trabalho é a modelagem de equilíbrio geral computável (EGC). Essa abordagem leva em conta todas as interações entre mercados e, conseqüentemente, todas as inter-relações entre setores são explicitamente consideradas, bem como as relações de interdependência entre agentes

econômicos, setores diversos, países e regiões. Ao contrário das análises de equilíbrio parcial em que todos os preços dos outros bens, exceto o de objeto de estudo, são fixos, nos modelos de equilíbrio geral todos os preços são variáveis. Ademais, esses modelos permitem a obtenção das direções e magnitudes de choques exógenos que, neste caso, é a adoção de políticas de redução do desmatamento.

O modelo de EGC empregado é conhecido como *Emissions Prediction and Policy Analysis* (EPPA), desenvolvido pelo *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change* e descrito em Paltsev *et al.* (2005). O EPPA consiste em um modelo multi-regional, multi-setorial, dinâmico-recursivo, designado para simular cenários de emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e estimar o impacto econômico de políticas de mitigação das mudanças climáticas, como em Reilly e Paltsev (2007), Paltsev *et al.* (2008; 2009; 2012) e Gurgel, Reilly e Paltsev. (2007) e Jacoby *et al.* (2009). A versão do modelo a ser utilizada é a quinta versão do EPPA, calibrada para o ano base de 2004, sendo resolvido de forma endógena para o ano de 2005 e após, em intervalos de cinco anos, entre 2005 e 2100, fornecendo projeções para dezesseis países e regiões. Os países e regiões, bem como os setores e fatores considerados no EPPA para este trabalho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Agregações utilizadas pelo modelo EPPA

<b>Regiões</b>	<b>Setores</b>	<b>Fatores</b>
Estados Unidos (USA)	<b>Não Energia</b>	Capital
Canadá (CAN)	Agricultura – Culturas (CROP)	Trabalho
México (MEX)	Agricultura – Pecuária (LIVE)	Petróleo xisto
Japão (JPN)	Agricultura – Florestal (FORS)	Carvão
União Européia (EUR)	Alimentos (FOOD)	Gás natural
Austrália & N. Zelândia (ANZ)	Serviços (SERV)	Hidráulica
Rússia (RUS)	Químicos, borracha, plásticos e papel (CRP)	Nuclear
Leste Europeu (ROE)	Siderurgia e metalurgia (IRON)	Eólica & Solar
China (CHN)	Metais não ferrosos (ALUM)	Terra:
Índia (IND)	Minerais não metálicos (CIME)	- culturas
Brasil (BRA)	Outras Indústrias (OTHR)	- pastagens
Leste Asiático (ASI)	Serviços de transporte (TRAN)	- florestal
Oriente Médio (MES)	Transporte próprio das famílias (FTRAN)	Florestas naturais
África (AFR)	<b>Energia</b>	Pastagens naturais
América Latina (LAM)	Carvão (COAL)	
Resto da Ásia (REA)	Petróleo bruto (OIL)	
	Petróleo refinado (ROIL)	
	Gás natural (GAS)	
	Eletricidade fóssil (ELEC)	
	Eletricidade hidráulica (H-ELE)	
	Eletricidade nuclear (A-NUC)	
	Eletricidade eólica (W-ELE)	
	Eletricidade solar (S-ELE)	
	Eletricidade biomassa (biELE)	
	Eletricidade NGCC <sup>1</sup> (NGCC)	
	Eletricidade NGCC - CCS <sup>2</sup>	
	Eletricidade IGCC <sup>3</sup> - CCS	
	Gás sintético (SGAS)	
	Biocombustível (1º geração)	
	Biocombustível (2º geração) (BOIL)	
	Petróleo de xisto (SOIL)	

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

<sup>1</sup> NGCC: conversão de gás natural em eletricidade a partir de ciclo combinado de geração

<sup>2</sup> CCS: captura e sequestro de carbono

<sup>3</sup> IGCC: tecnologia de geração de gás natural a partir do carvão pelo ciclo combinado de geração

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

(1999). O MPSGE constrói equações algébricas que caracterizam as condições de lucro econômico zero para a produção, equilíbrio entre renda e despesas dos consumidores e equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados de bens e fatores de produção.

O fato de o modelo EPPA ser dinâmico-recursivo significa que as decisões econômicas de otimização são realizadas a cada período, considerando apenas preços e quantidades vigentes no mesmo (expectativas “míopes”). Para o período seguinte, os valores de referências para o processo de otimização são os resultados obtidos no período anterior. Isso quer dizer que, em cada período o modelo possui um processo estático de solução, na medida em que os agentes não se preocupam com valores futuros esperados para as demais variáveis.

Em cada período, funções de produção para cada setor da economia descrevem as combinações de capital, trabalho, terra, energia e insumos intermediários para gerar os bens e serviços. As escolhas entre os diferentes insumos reflete a tecnologia utilizada, em outras palavras, a possibilidade de substituir diferentes fatores produtivos e insumos intermediários no processo produtivo. Enquanto, o consumo é modelado pela presença de um consumidor representativo que busca a maximização da utilidade pelo consumo de bens e serviços, e a substituição entre bens e serviços ilustra suas preferências. A representação da habilidade dos consumidores e firmas em realizar escolhas entre distintos insumos e bens é fundamental no modelo EPPA. Tais escolhas são determinadas pelos parâmetros de elasticidades de substituição nas funções de produção e de utilidade do consumidor.

Os problemas de otimização no modelo são abordados como problemas de complementaridade mista em decorrência da grande quantidade de agentes econômicos e distorções existentes. Essa abordagem requer lucro econômico igual a zero, equilíbrio dos mercados e equilíbrio da renda. Para que essas condições sejam satisfeitas são necessários preços, quantidades e níveis de renda não negativos.

A condição de lucro econômico igual a zero significa que qualquer setor que produza uma quantidade positiva de produto deve ter lucro igual a zero, ou seja, o valor dos insumos de qualquer atividade precisa ser igual ou maior que o valor da produção. Já a condição de equilíbrio dos mercados requer que um preço positivo exista para qualquer bem cuja oferta se iguale à demanda e que, qualquer bem com excesso de oferta deve ter um preço igual a zero. A condição de equilíbrio da renda exige que, para cada agente, incluindo entidades do governo, o valor da renda deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das receitas tributárias.

Em cada região e em cada setor, uma firma representativa escolhe um nível de produto, a partir da combinação das quantidades de fatores primários e a quantidade de insumos intermediários advindos dos outros setores, de modo a maximizar seu lucro. O comportamento otimizador da firma implica na condição de equilíbrio de que o preço é igual ao custo marginal. Um agente representativo para cada região apresenta dotações iniciais de oferta de fatores de produção, que serão vendidos ou alugados às firmas, escolhendo o nível de consumo e poupança em cada período para maximizar sua função de utilidade sujeita à restrição orçamentária, dado seu nível de renda. Finalmente, o sistema de equações é fechado, sendo os preços de equilíbrio em mercados diferentes de bens e fatores de produção determinados por expressões de equilíbrio dos mercados.

No modelo EPPA assume-se que as funções de produção e de utilidade são representadas por funções de elasticidade de substituição constante (ESC) aninhadas. Isto possibilita a flexibilidade na determinação de substituição entre diversos grupos de insumos e fatores, e das elasticidades de substituição, em especial no que diz respeito a combustíveis e eletricidade e outros processos sensíveis à emissão e aos seus custos de mitigação. No entanto, essas estruturas no modelo EPPA são muito complexas, pois apresentam vários níveis de ramificações.

A evolução temporal do modelo é baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento de consumo, poupança, investimentos e acúmulo de capital, bem como de pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, da energia e da terra. As mudanças estruturais na demanda por bens e serviços produzidos por cada setor, incluindo alimentos e combustíveis, ocorre à medida que o produto e a renda aumentam. Os estoques de recursos limitados, como combustíveis fósseis, diminuem à medida que estes são utilizados, forçando o aumento no custo de extração e beneficiamento dos mesmos. Setores que usam recursos renováveis, como a terra, competem pela disponibilidade de fluxos de serviços fornecidos pelos mesmos. O desenvolvimento ou declínio de uma

tecnologia em particular é determinado de forma endógena, de acordo com a competitividade relativa deste. Todos esses fenômenos, aliados a políticas simuladas, como impostos e subsídios ao uso de energia, controle nas emissões de poluentes e imposição de mandatos de percentuais mínimos de misturas de combustíveis, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos.

Como a poupança e o investimento são baseados em variáveis do período corrente, a poupança em cada período se iguala ao investimento, sendo que este último repõe a depreciação dada e contribui para a formação de capital do próximo período. Assim, o setor de investimento será representado por um setor produtivo específico, igualando-se ao nível de poupança determinado pela função de utilidade do agente representativo. A propensão marginal a poupar é mantida constante ao longo do tempo, evitando assim choques relacionados aos ciclos econômicos.

Para representar a rigidez do estoque de capital, divide-se este recurso em dois componentes, um maleável e outro não maleável. Assume-se que a parcela maleável do estoque de capital em cada setor é descrita pelas funções CES. Isso significa que o capital pode substituir e ser substituído por outros insumos na função de produção. A parcela não maleável do capital é tratada através de uma função Leontief, que não permite a substituição entre insumos. A parcela de capital não maleável e dos demais insumos na função de produção são definidas no momento que tal capital é formado, refletindo a tecnologia sendo utilizada no momento de emprego daquele capital. Essa formulação permite ao modelo exibir respostas de curto e de longo prazo a partir de mudanças nos preços relativos. Ao longo do tempo, o capital não maleável gerado em um determinado período anterior sofrerá depreciação e será substituído por novas parcelas de capital não maleável, que refletem as tecnologias em uso nos períodos mais recentes, oriundas das mudanças em preços relativos no tempo.

Quanto ao crescimento da força de trabalho, este é definido exogenamente, sendo composto pelos efeitos separados do crescimento populacional e da produtividade do trabalho. O crescimento populacional está baseado na tendência de longo prazo dos dados das Nações Unidas (UN, 2000 e 2001). Já a produtividade do trabalho é especificada de forma a permitir a reprodução de níveis de produto interno bruto nas regiões do modelo conforme previsto pelo Fundo Monetário Internacional (IMF, 2000).

Quanto ao fechamento macroeconômico do modelo, a cada período considera-se que a oferta total de cada fator de produção é constante (exceto as diferentes categorias de uso da terra, que são transformáveis em outras), os fatores são móveis entre setores dentro de uma mesma região, com exceção da parcela não maleável do capital, e não há movimento de fatores de uma região para outra. O fator terra é específico aos setores agropecuários enquanto recursos naturais são específicos aos setores que extraem os mesmos para produção de energia.

Não há desemprego no modelo, portanto os preços dos fatores são flexíveis. Pelo lado da demanda, a propensão marginal a poupar é constante e específica a cada região de acordo com a sua parcela no total do consumo e poupança agregados na base de dados iniciais. Os fluxos internacionais de capitais que compensam os desequilíbrios no comércio de bens e serviços no ano base do modelo são assumidos exógenos e declinantes com o tempo, reduzindo os déficits ou superávits nas transações correntes ao longo do horizonte do modelo. Dessa forma, mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer a cada período para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações. O consumo do governo pode alterar com mudanças nos preços dos bens, assim como a receita advinda dos impostos está sujeita a mudanças no nível de atividade e no consumo.

Os dados econômicos do modelo EPPA são construídos a partir do Global Trade Analysis Project - GTAP (HERTEL, 1997; DIMARANAN; MCDOUGALL, 2002; NARAYANAN; WALMSLEY, 2008), um banco de dados consistente sobre consumo macroeconômico regional, produção e fluxos de comércio bilateral, em sua versão 7. A base de dados do GTAP7 apresenta matrizes de insumo-produto para 113 países e regiões do mundo e 57 setores de suas economias, além de incluir a representação detalhada dos mercados de energia em unidades físicas. O GTAP foi construído na linguagem de programação conhecida como GEMPACK (HARRISON; PEARSON, 1996), mas o EPPA utiliza a plataforma do GAMS (BROOKE *et al.*, 1998). Para resolver essa incompatibilidade, os dados do GTAP são convertidos e rearranjados a partir do programa GTAPinGAMS (RUTHERFORD; PALTSEV, 2000). Já os dados de uso da terra fazem parte da base de dados do GTAP e dos trabalhos desenvolvidos por Hurtt *et al.* (2006).

As estatísticas sobre os gases de efeito estufa (dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>; metano, CH<sub>4</sub>; óxido nitroso, N<sub>2</sub>O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF<sub>6</sub>) são obtidos de inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. E os dados de outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico, SO<sub>2</sub>; óxidos de nitrogênio, NO<sub>x</sub>, carbono, BC; carbono orgânico, OC; amônia, NH<sub>3</sub>; monóxido de carbono, CO; e compostos orgânicos voláteis não-metano, VOC) estão no banco de dados global EDGAR (OLIVIER e BERDOWSKI, 2001).

## 1.2. Mudanças no uso da terra

O uso da terra no modelo EPPA está dividido em cinco categorias: pastagens, culturas, produção florestal e matas secundárias (áreas de silvicultura, extração vegetal e florestas plantadas), florestas naturais e pastagens naturais. As áreas no uso de culturas, pastagens e silvicultura, bem como as de florestas naturais e campos naturais, são determinadas pelo modelo de ecossistemas terrestres denominado de Terrestrial Ecosystem Model – TEM (MELILLO *et al.*, 2009) com base no trabalho de Hurtt *et al.* (2006). O modelo TEM classifica, mapeia e categoriza os diferentes tipos de vegetação e uso da terra ao nível de 0,5° por 0,5° de latitude e longitude. O modelo classificou as áreas de vegetação típicas de florestas naturais do trabalho de Hurtt *et al.* (2006) na categoria Florestas Naturais (NFORS), enquanto as áreas com características de cerrado e campos foram classificadas na categoria de Campos Naturais (NGRASS) do EPPA. Áreas de florestas de vegetação secundária em recuperação (que não atingiram ainda estágios de equilíbrio vegetativo) e de florestas plantadas foram classificadas no TEM na categoria de Florestas Plantadas e Secundárias (FORS). A Tabela 2 apresenta a distribuição dos diferentes tipos de uso da terra no modelo EPPA calibrados para o ano de 2010 nas regiões do modelo.

Tabela 2 – Total de áreas por categoria em cada categoria do modelo EPPA calibrados para o ano de 2010 – em mil hectares

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

Fonte: TEM/EPPA.

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

Cada categoria de terra é considerada um recurso renovável, que pode ser modificada pela sua conversão em outra categoria, ou abandonada em categoria não utilizada (vegetação secundária). Além disso, a terra está sujeita a melhorias exógenas de produtividade, estabelecidas em 1% ao ano para cada categoria, o que reflete a tendência histórica de avanço na produtividade agropecuária, bem como o rendimento

histórico das safras, o qual tem apresentado um crescimento de 1% a 3% ao ano, de acordo com Reilly e Fuglie (1998).

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

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

Para modelar a resposta observada da oferta de terra utiliza-se um fator de produção fixo, sendo a elasticidade de substituição entre o fator fixo e outros insumos parametrizada de forma a representar a resposta observada da oferta de terra em resposta a mudanças no preço da mesma nas últimas décadas. O modelo adota a resposta observada da conversão de terras nos últimos anos como uma representação da resposta de longo-prazo.

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

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

Os valores das rendas da terra por hectare das regiões no ano base do modelo podem ser vistos em Cabral (2013). Em geral, a renda de áreas de culturas é a mais alta (a não ser para países em que áreas de pastagens são muito limitadas), seguida da renda das áreas de pastagens. As áreas de florestas plantadas e secundárias são geralmente menores que as de outros usos produtivos, uma vez que esta categoria agrega não apenas áreas de silvicultura, mas também áreas de vegetação secundária em regeneração. As áreas de vegetação natural (florestas e campos) são as de menor renda da terra, uma vez que não são exploradas comercialmente.

As funções de transformação do uso da terra são calibradas para representar a resposta observada de oferta da terra desde 1990 até os dias atuais, considerando os custos crescentes associados com o uso de insumos e fatores para a conversão, a necessidade de ampliar a infraestrutura de acesso a áreas de



vegetação natural remotas, e as instituições formais e informais (leis, padrões de conduta, grupos ambientalistas e percepção da sociedade) que atuam com base em razões ambientais e conservacionistas, dificultando tais conversões. Para tal, calcula-se a elasticidade-preço da oferta de terra para cada região, considerando o aumento médio no preço da terra de 1990 a 2005 e a área média anual de conversão de áreas de florestas em cada região. Com base em Hyman *et al.* (2002), converte-se essa elasticidade da oferta em uma elasticidade de substituição entre o fator fixo e os demais insumos usados na conversão, dada pela divisão entre a elasticidade da oferta e a parcela de custo dos demais insumos no custo da função de conversão. Para a calibragem das funções ainda são necessárias estimativas da parcela da produção florestal do país gerada a partir do corte de florestas naturais, bem como a área relativa de floresta natural sendo desmatada em relação à área total da categoria de uso da terra de floresta plantada e secundária (FORS). Essas informações são podem ser vistas em Cabral (2013).

Nas regiões em que não há mais desmatamento líquido e/ou aparente as elasticidades são próximas de zero, bem como os demais parâmetros. As maiores elasticidades da oferta da terra são obtidas para as regiões com maiores taxas de desmatamento, quais sejam Resto da América Latina, África e Leste Asiático.

## 2. Cenários e resultados

### 2.1. Cenários implementados

Com o objetivo de reduzir substancialmente a taxa de desmatamento, que apresentava uma curva ascendente na década passada, o governo brasileiro criou em 2004, o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm), na qual os principais eixos do plano eram o ordenamento fundiário e territorial, o monitoramento e controle ambiental, e o fomento a atividades produtivas sustentáveis. Entretanto, apesar dos esforços no âmbito desse plano, a taxa de desmatamento voltou a crescer na Amazônia a partir do segundo semestre de 2007 (BRASIL, 2009b).

Com isso, o governo acelerou a assinatura do Decreto nº 6.321, em 21 de dezembro de 2007, que estabeleceu um conjunto de medidas para controlar o desmatamento, como: edição da lista de municípios considerados prioritários para as ações de controle ambiental e fundiário, proibindo a emissão de novas autorizações de desmatamento e a possibilidade de o INCRA promover o recadastramento dos imóveis rurais; e a obrigatoriedade dos embargos de áreas ilegalmente desmatadas (reforçado pelo Decreto nº 6.514 que aprimorou a Lei de Crimes Ambientais). Ademais, em fevereiro de 2008, o Conselho Monetário Nacional (CMN) aceitou modificar as regras de concessão de crédito rural, de modo a exigir a regularidade ambiental e fundiária para a concessão de empréstimo a propriedades rurais na Amazônia.

Em dezembro de 2009 foi aprovada a Lei nº 12.187, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Também oficializou o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de GEEs entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Os instrumentos para execução da PNMC são, entre outros, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, a Comunicação do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, os planos de ação para a prevenção e controle do desmatamento nos biomas, as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados, e o desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento.

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

- Reduzir em 80% os índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005, até 2020;
- Reduzir em 40% os índices anuais de desmatamento no Bioma Cerrado em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008, até 2020; entre outros.

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

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

1. Cenário de referência – REF: os indicadores econômicos são avaliados como se o governo não implantasse políticas de redução do desmatamento. Em outras palavras, REF representa a trajetória da economia projetada pelo modelo EPPA, se ela continuasse sob a mesma dinâmica que a determina hoje, excluídas as políticas de combate ao desmatamento.
2. Cenário de redução do desmatamento considerando as metas atuais – denominado de cenário “Meta Atual”: considera as metas de redução de 80% do desmatamento da Amazônia e de redução de 40% do desmatamento no Cerrado até 2020. No entanto, essas metas são mantidas até 2050, isso porque acredita-se que a sociedade (principalmente, por parte das ONGs) pressionará o governo para que os esforços e as conquistas adquiridos até 2020, ao menos, sejam mantidos.
3. Cenário de desmatamento zero para a Amazônia até 2050 – AM\_Zero: simula-se uma situação hipotética de que o desmatamento na Amazônia é completamente eliminado até 2050 a taxas exponenciais acumuladas quinquenalmente, e a meta atual de redução do desmatamento no Cerrado é mantida até 2050.
4. Cenário de desmatamento zero para a Amazônia e o Cerrado até 2050, ambos a taxas exponenciais – AM\_CE\_Exp: considera-se que, após o cumprimento das metas de 2020 para o Cerrado e a Amazônia, sejam assumidas metas para eliminação do desmatamento até 2050, as taxas exponenciais acumuladas quinquenalmente.

Para ficar mais claro os choques de redução do desmatamento que foram implementados no modelo, a Tabela 3 mostra qual o montante de áreas que foi permitido ao modelo desmatar por ano e por bioma.

Tabela 3 – Total de áreas permitidas de desmatamento no modelo por bioma – em mil ha

Taxa de desmatamento	Amazônia						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Meta atual	382.92	382.92	382.92	382.92	382.92	382.92	382.92
Desmatamento zero 2050 - exp.	382.92	65.94	11.35	1.96	0.34	0.06	0.01
Taxa de desmatamento	Cerrado						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Meta atual	942	942	942	942	942	942	942
Desmatamento zero 2050 - exp.	942	141.30	21.20	3.18	0.48	0.07	0.01

O desmatamento permitido em 2020 é baseado na meta de redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia<sup>1</sup>, em relação à média de 19.625 km<sup>2</sup> (1.962,5 mil hectares) verificada entre os anos de 1996 a 2005, conforme descrito no Plano Plurianual 2012-2015 (BRASIL, 2011), o que resulta em 382,92 mil hectares ao ano de desmatamento em 2020. Para o caso do Cerrado, é previsto uma

<sup>1</sup> Apesar de ser usado o termo “redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado”, as políticas de restrições dos desmatamentos estão sendo aplicadas às categorias de uso da terra classificadas como Florestas Naturais (NFORS), que incluem as áreas da Amazônia, Mata Atlântica e Pantanal, e Campos Naturais (NGRASS), que são as áreas do Cerrado, Caatinga e Pampas, do modelo EPPA, respectivamente. Acredita-se que, considerando as menores taxas de transformação dos biomas Mata Atlântica, Pantanal, Caatinga e Pampas em relação aos biomas Cerrado e Amazônia, os resultados do modelo possam ser interpretados em termos desses dois últimos biomas sem comprometimento da qualidade de análise.

redução de 40% dos índices anuais em relação à média de 15,7 mil km<sup>2</sup> (1.570 mil hectares) verificada entre os anos de 1999 a 2008 (BRASIL, 2011), resultando em 942 mil hectares desmatados em 2020<sup>2</sup>.

## 2.2. Resultados

### 2.2.1. Produção da agricultura, pecuária e de alimentos

Os resultados obtidos mostram que a introdução de políticas de redução do desmatamento tem efeitos negativos sobre o valor da produção agrícola, pecuária e de alimentos. Tais efeitos estão diretamente relacionados à dificuldade dos setores agrícola e pecuário de substituir o insumo fundamental à sua produção, a terra. No entanto, os impactos não são expressivos, conforme mostra a Figura 1. As mudanças percentuais são calculadas em relação à produção observada no cenário de referência (REF).

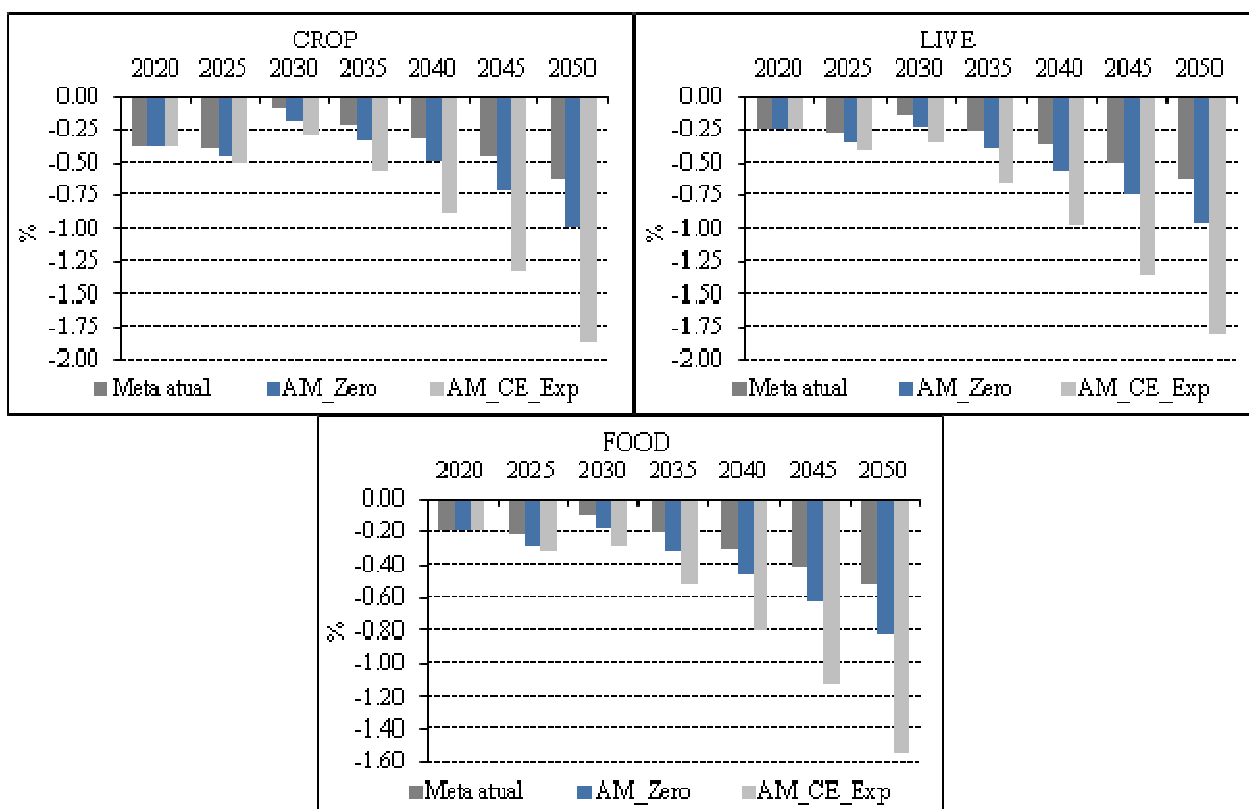


Figura 1 - Mudanças (%) no produto dos setores da agricultura, da pecuária e de alimentos

Como se pode observar, as taxas de variações do produto agrícola (CROP), pecuário (LIVE) e da indústria de alimentos (FOOD) entre o cenário de referência e os cenários de redução do desmatamento são as mesmas para o ano de 2020, respectivo a cada setor – característica que se repetirá em todos os outros resultados apresentados. Isso porque a taxa de redução do desmatamento é a mesma em todos os cenários nesse ano e as expectativas dos agentes são míopes (não consideram indicadores futuros para tomada de decisão no presente).

As variações em produção nesses setores são bastante similares em termos de direção e magnitude. No entanto, as políticas de redução do desmatamento têm impactos pouco expressivos sobre o produto

<sup>2</sup> Também foi incorporado ao modelo os orçamentos do PPCDAm e do PPCerrado como perdas monetárias para a sociedade. Os custos orçados para o PPCDAm entre 2009 e 2011 foram de R\$ 1.223.577.295 (BRASIL, 2009b) e para o PPCerrado, R\$ 340.477.905 entre 2010-2011 (BRASIL, 2010a). Com base nesses valores, foi calculada a média anual, transformado em dólares e descontado a inflação americana, sendo os dois últimos obtidos da base de dados do FMI. Os valores futuros foram estimados com base nas estimativas do FMI para câmbio e inflação americana, até 2017, e a partir desse ano, foi usado como previsor uma média móvel desses indicadores. No entanto, não se espera que esses gastos provoquem impactos consideráveis nos resultados, já que representaram uma parcela insignificante do PIB.

agropecuário e de alimentos, de -0,38 % em 2020 para o setor agrícola, de -0,23% para a pecuária e de -0,19% para o setor de alimentos, ambos no cenário AM\_CE\_Exp. O máximo de perdas chega a 1,87% para a agricultura, 1,81% para a pecuária e 1,54% para o setor de alimentos, em 2050 e no cenário AM\_CE\_Exp. Tais reduções não significam que o produto cresce a uma taxa negativa, mas que apenas crescem a uma taxa menor do que seria observado na ausência da política de redução do desmatamento.

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

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

### 2.2.2. Mudanças no uso da terra

Antes de continuar analisando alguns indicadores econômicos, é importante verificar como o uso da terra é alterado após os choques de reduções dos desmatamentos, pois isso pode ajudar a esclarecer melhor os resultados obtidos dos indicadores econômicos. A Figura 2 mostra a trajetória do uso da terra para cada fim nos quatro cenários simulados.

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

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

Quanto às áreas utilizadas para culturas (CROP), o gráfico “Agricultura” da Figura 2 mostra que o montante de áreas para fins agrícolas não sofre impactos expressivos, sendo que as trajetórias dos cenários de redução do desmatamento apenas se deslocam da trajetória do cenário de referência a partir de 2035. A maior variação ocorre entre os cenários REF e AM\_CE\_Exp (como é o esperado, sempre), de quase 7 milhões de hectares em 2050.

Já no caso da pecuária, as políticas de redução do desmatamento acarretaram mudanças significativas sobre o montante de terras utilizadas por essa atividade (gráfico “Pecuária” da Figura 2). Enquanto a trajetória do cenário REF é crescente até o fim do período, as trajetórias dos cenários de política ligeiramente decrescem a partir de 2045. Isso sugere uma significativa intensificação do uso das

pastagens, já que a redução na produção pecuária é pouco expressiva, como visto na subseção anterior. A diferença entre o cenário REF e o cenário AM\_CE\_Exp é de quase 38 milhões de hectares, e de aproximadamente 30 milhões ha em relação aos demais cenários, que apresentam resultados semelhantes.

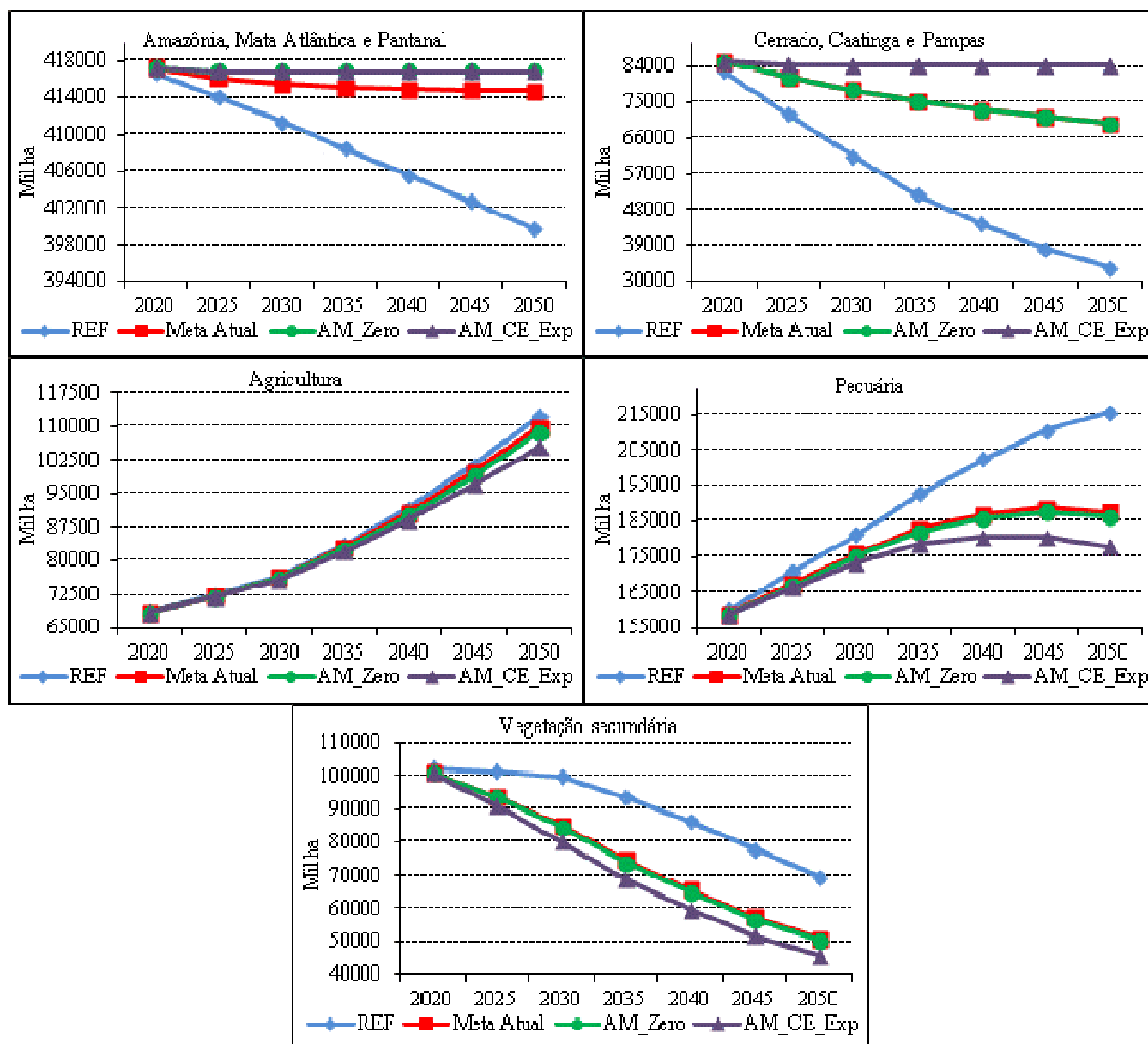


Figura 2 – Trajetória do total das áreas utilizadas por categoria

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

### 2.2.3. Balança comercial setorial

Os resultados do modelo também permitem avaliar o desempenho da Balança Comercial dos setores agropecuários e de alimentos, e os eventuais ganhos ou perdas de competitividade desses setores. A Tabela 4 apresenta os resultados de variações nas exportações e importações dos setores agrícolas (CROP) e de alimentos (FOOD) nos diversos cenários de redução do desmatamento, em relação às do cenário de referência<sup>3</sup>.

De um modo geral, as mudanças nas exportações refletem as direções das mudanças na produção, e como a produção desses setores é menor com o estabelecimento da política, as vendas para o exterior diminuem e as compras do exterior aumentam. No entanto, a introdução de metas de desmatamento zero para a Amazônia e o Cerrado a taxas exponenciais, impõe uma redução de apenas 3,9% das exportações agrícolas e o aumento de 1,74% de suas importações, ambos em 2050, enquanto que para o setor de alimentos, essa redução das exportações é de quase 5% e o aumento das importações, de 2,66%. Essas variações apesar de pouco expressivas, revelam certo grau de perda da competitividade desses setores.

Tabela 4 – Mudanças nas exportações e importações de alimentos e da agricultura nos cenários de política em relação ao cenário de referência – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Exportações						
CROP							
Meta Atual	-0.93	-0.96	-0.18	-0.41	-0.64	-0.92	-1.28
AM_Zero	-0.93	-1.10	-0.38	-0.70	-1.04	-1.51	-2.03
AM_CE_Exp	-0.93	-1.19	-0.63	-1.22	-1.92	-2.84	-3.90
FOOD							
Meta Atual	-1.03	-1.13	-0.33	-0.67	-0.97	-1.32	-1.66
AM_Zero	-1.03	-1.34	-0.62	-1.08	-1.53	-2.03	-2.62
AM_CE_Exp	-1.03	-1.47	-0.98	-1.81	-2.71	-3.74	-4.95
Importações							
CROP							
Meta Atual	0.44	0.44	0.06	0.14	0.24	0.37	0.54
AM_Zero	0.44	0.49	0.14	0.26	0.41	0.64	0.88
AM_CE_Exp	0.44	0.53	0.24	0.47	0.78	1.24	1.74
FOOD							
Meta Atual	0.64	0.69	0.16	0.34	0.49	0.68	0.85
AM_Zero	0.64	0.80	0.32	0.56	0.80	1.07	1.38
AM_CE_Exp	0.64	0.88	0.51	0.96	1.44	2.00	2.66

Fonte: Resultados da pesquisa.

#### 2.2.4. PIB e bem-estar

A Tabela 5 mostra a variação nos resultados projetados para o PIB nos cenários de redução do desmatamento em relação aos valores do cenário de referência. Os resultados mostram que a política de limitação dos desmatamentos tem impactos pouco expressivos sobre o PIB brasileiro. Inicialmente, a política delineada para 2020, o reduz em cerca de apenas 0,03%, e posteriormente, as perdas aumentam ao longo do tempo. No entanto, chegam a no máximo -0,15% no cenário AM\_CE\_Exp.

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

A quebra na trajetória da variação das perdas em 2025 pode ser atribuída à utilização das áreas da categoria FORS. No cenário de referência, a disponibilidade dessas áreas declina mais suavemente do que nos cenários de política entre 2020 e 2030, conforme visto no gráfico “Vegetação secundária” da Figura

<sup>3</sup> Aqui é considerada apenas a balança comercial de alimentos e da agricultura, porque nesse caso os resultados obtidos para a pecuária se referem a animais vivos, e as vendas ou compras de carnes são contabilizadas em alimentos.

2. Com isso, maiores gastos em melhoria dessas terras são exigidos inicialmente, quando introduzido as políticas de restrição do desmatamento, e conseqüentemente, maiores perdas de produção setorial e de PIB.

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

Tabela 5 – Mudanças em PIB e bem-estar entre os cenários de política e o cenário REF – em %

Cenário	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	<b>PIB</b>						
Meta Atual	-0.03	-0.05	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07
AM_Zero	-0.03	-0.05	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.09
AM_CE_Exp	-0.03	-0.05	-0.04	-0.05	-0.07	-0.10	-0.15
<b>Bem-estar</b>							
Meta Atual	0.05	0.05	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04
AM_Zero	0.05	0.05	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.04
AM_CE_Exp	0.05	0.05	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07

Fonte: Resultados da pesquisa.

A mudança em bem-estar (mensurada na forma de variação equivalente Hicksiana<sup>4</sup>) é um bom indicativo de com os impactos agregados esperados afetam o nível de conforto e satisfação das famílias de um país, levando em consideração todas as mudanças em preços de bens e serviços e dos fatores de produção, que em última instância determinam a renda das famílias. A Tabela 5 também mostra os resultados das mudanças em bem-estar na economia brasileira dos cenários de redução do desmatamento em relação ao cenário de referência REF.

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

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho objetivou estudar os impactos econômicos de políticas de limitação do desmatamento sobre os setores agropecuário e de alimentos, e a economia nacional. Mais especificamente, analisou-se como determinadas variáveis econômicas, como o nível de atividade dos setores agropecuários, os níveis de preços dos alimentos, os fluxos comerciais e o produto agregado, respondem à simulação de alguns cenários de redução do desmatamento na Amazônia e no Cerrado. Tais cenários consideram as metas do governo de redução de 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal até 2020 (em relação à média verificada entre os anos de 1996 a 2005), e a redução de 40% dos índices anuais de desmatamento no Bioma Cerrado (em relação à média verificada entre os anos de 1999 a 2008). A partir

<sup>4</sup> Variação na renda necessária para que o consumidor obtenha o mesmo nível de utilidade que tinha antes da alteração nos preços relativos.

de 2020 foram considerados alguns possíveis cenários de controle do desmatamento como: a manutenção da taxa de desmatamento de 2020 respectivas a Amazônia e ao Cerrado; reduções a taxas exponenciais dos desmatamentos no Cerrado e na Amazônia até que seja atingindo o desmatamento zero em 2050; e manutenção da taxa de desmatamento de 2020 para o Cerrado e, simultaneamente, redução exponencial do desmatamento na Amazônia até atingir o desmatamento zero em 2050.

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

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

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

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

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

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



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

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

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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