

IMPACTOS ECONÔMICOS DE POLÍTICAS CLIMÁTICAS PARA O BRASIL: CUSTOS DAS METAS DE COPENHAGUE

Jonathan Gonçalves da Silva*
Angelo Costa Gurgel**

Resumo – O presente estudo tem por objetivo estimar os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas que permitam atingir a meta assumida em Copenhague pelo Brasil, de redução de 39% das emissões de gases de efeito estufa até 2020, incluindo o controle das emissões pelo desmatamento. Para tal, utiliza-se um modelo de equilíbrio geral dinâmico-recursivo da economia mundial. Os resultados indicam que a meta assumida pode ser atingida através de mercados setoriais de carbono, com um impacto econômico de 1,96% de perda no PIB em relação a um cenário de referência sem controle de emissões. Os setores de produção de energia fóssil e intensivos no seu uso seriam os mais afetados. O controle das emissões do desmatamento não intensifica os custos para atingir as metas, uma vez que o controle de emissões na agropecuária pode frear o ritmo de expansão da fronteira agrícola no país. Contudo, é necessário o maior controle do avanço da pecuária sobre as áreas de florestas para que a meta de redução em emissões seja atingida. A implementação de um mercado de carbono único para o país, ao invés de metas diferenciadas setorialmente, pode reduzir os custos de atingir as reduções compromissadas em Copenhague.

Palavras-chave: gases de efeito estufa, equilíbrio geral, políticas climáticas.

Abstract – This study aims to estimate the economic impacts of climate policy scenarios for Brazil to achieve the target of 39% reduction in greenhouse gas emissions in 2020, as compromised in Copenhagen, including the control of emissions from deforestation. To this end, we use a dynamic-recursive general equilibrium model of the world economy. The results indicate that the goal can be achieved by the implementation of sectoral carbon markets, what will lead to a 1,96% loss in GDP compared to a reference scenario without emissions control. The production sectors of fossil fuel and the energy intensive industry are the most impacted. The control of the emissions from deforestation does not increase the costs to achieve the goal, since the emissions control in agricultural sectors may reduce the pace of the expansion in the country's agricultural frontier. However, it is necessary to control the livestock expansion on forest areas to be able to achieve the goal. The implementation of a country wide carbon market may reduce the policy costs, compared to the sectoral differentiated goals, in achieving the Copenhagen target.

Key-words: greenhouse gases, general equilibrium, climate policies.

Classificação JEL: Q52, Q54, Q15, C68.

Área da ANPEC: 10 - Economia Agrícola e Meio Ambiente.

* Bolsista da CAPES, doutorando em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – Esalq/USP, jonathangsilva@usp.br.

** Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo – FEA-RP/USP, angelocg@usp.br.

1. INTRODUÇÃO

Uma das questões que mais tem ocupado a atenção da comunidade internacional nas últimas décadas é a questão climática. Diversos estudos apontam uma significativa alteração do padrão climático global. Dentre estes estudos pode-se destacar o relatório mais recente do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007*),¹ o qual aponta um aumento de 70% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) entre 1970 e 2004. Esse aumento das emissões de GEE tem sido identificado como uma das causas das alterações climáticas recentes.

As consequências da mudança do clima são as mais variadas, dentre elas pode-se citar: a resiliência de ecossistemas superada, perdas na agricultura, aumento na intensidade de doenças associadas ao clima², eventos climáticos extremos, impactos sobre assentamentos humanos, entre outros.

Diante deste quadro, a questão climática, mais especificamente, a necessidade da adoção de medidas para a mitigação e adaptação às mudanças do clima, passam a ocupar um papel cada vez mais relevante ou até mesmo central nos debates internacionais. Um dos marcos do debate acerca do clima foi a “Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Humano e Meio Ambiente”, realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro, em que diversas nações se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE.

O ano de 1997 pode ser considerado outro marco em decorrência do encontro ocorrido em Quioto no Japão, em que foi adotado um protocolo à Convenção sobre Mudança do Clima, chamado de Protocolo de Quioto, que estabeleceu compromissos quantificados aos países industrializados de redução ou limitação das emissões antrópicas combinadas de GEE. No âmbito do Protocolo de Quioto foram criados os seguintes mecanismos de flexibilização: Comércio de emissões, implementação conjunta e mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL). Tais mecanismos têm por objetivo reduzir os níveis de emissões dos países industrializados em pelo menos 5% abaixo dos níveis de 1990 no período de compromisso de 2008 a 2012, bem como fomentar o desenvolvimento de políticas de redução de emissões dos GEE nos países em desenvolvimento.

Nesse contexto, de transição para uma economia de baixo carbono, o Brasil tem um papel de destaque, a começar pelo padrão de suas emissões. Ao contrário do que ocorre na maior parte dos países, as mudanças no uso da terra e florestas (associada a queimadas e abertura de pastos em áreas antes de florestas) respondem por mais da metade das emissões brasileiras (58%), seguida pelas emissões da agricultura (22%) e setor energético (16%) (BRASIL, 2009). Ainda, o Brasil é o exemplo mais bem sucedido na produção de biocombustíveis, mas, ao mesmo tempo tem gasto elevada soma de recursos na prospecção de petróleo na camada pré-sal, o que pode vir a comprometer a política dos biocombustíveis.

Outro aspecto importante é o fato do país apresentar um grande potencial de exportação de créditos de carbono, pois de acordo com dados da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 2011), já ocupa a terceira posição em número de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) em atividade, 499 projetos (6%), só perdendo para a China com 3.056 projetos (39%) e para

¹ O IPCC é o organismo de revisão da produção científica sobre mudança global do clima e com atividade relacionada à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

² Alteração na distribuição de alguns vetores de doenças infecciosas e endêmicas como dengue, febre amarela, malária, entre outros.

a Índia com 2.098 projetos (27%). Cabe destacar ainda, a matriz energética “limpa”, o grande potencial agrícola e ambiental, que fazem do Brasil um país chave no debate internacional sobre mudanças climáticas e transição para um novo padrão de desenvolvimento pautado na eficiência energética, matrizes energéticas limpas, ou seja, uma economia de baixo carbono.

No mundo em desenvolvimento, o Brasil deu o primeiro passo em direção à mitigação da mudança do clima com a adoção de metas voluntárias de redução de emissões, as quais foram apresentadas na Conferência das Partes realizada em Copenhague na Dinamarca no final de 2009. Porém, os impactos de tais metas sobre a economia brasileira ainda são controversos, podendo ser significativos sobre alguns setores e repercutir sobre a economia brasileira de diversas formas. A partir dessas considerações, alguns questionamentos podem ser feitos como: quais os impactos econômicos do Brasil adotar políticas de redução de gases do efeito estufa? Como o Brasil pode reduzir os efeitos negativos da adoção dessas políticas sobre sua economia?

Com o intuito de investigar tais questões torna-se útil a modelagem da economia brasileira, levando-se em consideração os principais aspectos acerca das mudanças climáticas. Embora existam trabalhos que tenham feito este esforço como: Rocha (2003), Lopes (2003); Tourinho, Motta e Alves (2003), Feijó e Porto Jr. (2009), Moraes (2009), o Estudo das Mudanças Climáticas no Brasil - EMCB (2010), entre outros, nenhum deles avaliam de forma quantitativa os impactos sobre a economia brasileira da adoção de políticas de redução das emissões de GEE que alcancem as metas as quais o Brasil compromete-se em Copenhague, bem como inexistem estudos que mensurem a redução das emissões provenientes do desmatamento no Brasil. Ainda, a maior parte desses trabalhos utiliza modelos estáticos modificados para incorporar questões ambientais. Com isso, surge espaço para abordagens dinâmicas para o caso brasileiro. Dessa forma, o presente trabalho faz um esforço para desenvolver um estudo quantitativo levando em consideração especificidades brasileiras como: uma matriz energética com grande participação de fontes de energia renováveis; os principais setores emissores de GEE; os custos de políticas de redução das emissões; a consideração de outros países e seus relacionamentos com o Brasil através dos mercados globais, entre outros. Pretende-se abordar essas questões através de um modelo criado para o estudo das emissões de GEE e de políticas ambientais.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo estimar os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil capazes de atingir a meta de redução em emissões assumida pelo país em Copenhague, considerando a possibilidade de restrições às emissões provenientes do desmatamento. Para isso, o estudo está organizado em mais três seções além desta introdução. A segunda seção apresenta a descrição do modelo utilizado, bem como a base de dados e agregações utilizadas. Na terceira seção aplica-se o modelo por meio da adoção de políticas de redução de emissões de GEE e são apresentados os principais resultados obtidos. Por fim, a última seção é dedicada às conclusões do trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1 O Modelo

A adoção de políticas de redução de GEE envolve diversos setores, agentes econômicos e países, os quais exercem influência sobre a economia. Para avaliar os impactos econômicos da adoção de políticas de mitigação das mudanças climáticas por parte do Brasil, torna-se necessário utilizar um instrumental que permita a representação de diferentes agentes e setores da economia e suas interrelações. Neste sentido, optou-se pela utilização do instrumental de modelos de equilíbrio geral computável (*Computable*

General Equilibrium – CGE), o qual incorpora variáveis macro e microeconômicas e procura captar as interdependências existentes entre os agentes de uma economia. Além disso, a utilização de modelos de equilíbrio geral computável permite a obtenção das direções e magnitudes de choques exógenos aplicados sobre uma mesma economia, permitindo a análise de impactos e custos de diversos cenários alternativos.

Como destaca Wing (2004) estes modelos de simulações combinam a estrutura abstrata de equilíbrio geral formalizada por Arrow e Debreu com dados econômicos reais para solucionar os níveis de oferta, demanda e preços que sustentam o equilíbrio num conjunto de mercados específicos. Os modelos CGE, são uma ferramenta padrão de análise empírica, amplamente utilizada na análise do bem-estar agregado e na distribuição dos impactos de políticas, que podem ser transmitidos através de múltiplos mercados, sendo capazes de representar uma ampla gama de diferentes tributos, subsídios, quotas ou instrumentos de transferências. Kydland e Prescott (1996) e Shoven e Whalley (1984), apresentam maiores detalhes sobre os modelos CGE.

Os modelos CGE têm sido intensivamente utilizados em análises de políticas climáticas como, por exemplo, as análises dos impactos do Protocolo de Quioto sobre a economia europeia (Virguier *et al.*, 2003), sobre a economia japonesa (Paltsev *et al.*, 2004), sobre os países em desenvolvimento (Babiker, Reilly e Jacoby, 2000), os custos de uma política climática nos Estados Unidos sob a gestão Obama (Paltsev *et al.*, 2009), o papel da Rússia no Protocolo de Quioto (Bernard *et al.*, 2003), e a redução do aquecimento global através de abordagens alternativas (Nordhaus, 2007), entre outros.

No presente estudo, utiliza-se o modelo EPPA³ (*Emissions Prediction and Policy Analysis*) desenvolvido inicialmente pelo MIT *Joint Program on the Science and Policy of Global Change*, o qual é um modelo de equilíbrio geral dinâmico-recursivo e multirregional da economia mundial, que foi construído sobre o conjunto de dados do GTAP (*Global Trade Analysis Project*, Dimaranan e McDougall, 2002) e de dados adicionais para as emissões de GEE. O modelo EPPA considera:

- i. um horizonte de simulação de longo-prazo (de 2005 até o ano de 2100),
- ii. tratamento dos principais GEE, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs), o hexafluoreto de enxofre (SF₆), bem como outras substâncias que exercem impacto direto sobre o clima.

Uma das grandes vantagens da utilização do modelo EPPA é a possibilidade de realizar simulações da economia mundial ao longo do tempo, produzindo cenários de emissões de GEE, aerossóis, bem como de outros poluentes do ar e seus precursores emitidos pelas atividades humanas. Outra contribuição do modelo para a análise econômica é sua capacidade de avaliar os impactos econômicos de políticas de mitigação de emissões, bem como suas implicações sobre a equidade e o bem-estar.

A evolução do modelo no tempo está baseada em cenários de crescimento econômico resultantes do comportamento do consumo, poupança e investimentos, bem como de pressuposições exógenas sobre o aumento da produtividade do trabalho, energia e da terra. O comportamento de tais variáveis somados às políticas simuladas, como impostos e subsídios ao uso de energia, controle nas emissões de poluentes, entre outros, determinam a evolução das economias e alteram a competitividade e participação das diferentes tecnologias ao longo do tempo e entre cenários alternativos.

Além disso, deve-se destacar a distinção feita pelo EPPA ao estoque de capital, o qual pode ser classificado em “maleável” e “não-maleável”. Cada economia regional é

³ Maiores detalhes sobre o Modelo EPPA podem ser encontradas em Babiker *et al.* (2001) e Paltsev *et al.* (2005).

modelada de forma a apresentar as duas formas de capital em cada período. Uma parcela do estoque de capital agregado é “maleável”, em que o *mix* de insumos com os quais este tipo de capital é usado pode ser alterado em resposta às mudanças de preços relativos. Já a outra parcela do capital é rígida, ou seja, a proporção de insumos utilizada por este capital é mantida fixa. A parcela não maleável do estoque de capital é representada por funções de produção Leontief, que não permite a substituição entre insumos. Já a parcela maleável do estoque de capital é representada por funções de elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity Substitution*, CES), permitindo que o capital substitua e seja substituído por outros insumos na função de produção. Esta formulação permite ao modelo exibir respostas de curto e longo prazos a partir de mudanças nos preços relativos.

O crescimento populacional é definido exogenamente com base em tendências de longo prazo dos dados das Nações Unidas (*United Nations*, 2000, 2001). A taxa de crescimento da produtividade do trabalho é especificada de forma a reproduzir a taxa observada e prevista de crescimento médio do PIB, conforme os dados do Fundo Monetário Internacional (FMI, 2000). Maiores detalhes sobre a dinâmica do modelo podem ser encontrados em Babiker *et al.* (2001) e Paltsev *et al.* (2005).

Como o EPPA pertence à classe de modelos CGE, este representa o fluxo circular de bens e serviços da economia, no qual consumidores (famílias) arrendam fatores de produção aos setores produtivos e recebem em troca rendas dos fatores, a qual é utilizada na compra de bens produzidos pelos setores produtivos. Dessa forma, utilizam-se os problemas de otimização convencionais da teoria microeconômica, cujos objetivos são: maximizar a utilidade dos consumidores sujeita à restrição orçamentária; e maximizar os lucros dos produtores sujeito às tecnologias de produção, à dotação de fatores primários e à existência de tributos e outras distorções. Os problemas de otimização são abordados como Problemas de Complementariedade Mista (*Mixed Complementary Problem - MCP*, Rutherford, 1995) em decorrência da grande quantidade de agentes econômicos e distorções. Conforme demonstrado por Mathiesen (1985), um modelo econômico de equilíbrio de Arrow-Debreu pode ser formulado como um MCP, onde três condições devem ser satisfeitas: lucro zero, equilíbrio dos mercados e equilíbrio da renda. A utilização da abordagem MCP, envolve três conjuntos de variáveis não negativas: preços, quantidades e níveis de renda, que satisfarão, respectivamente, as condições de lucro zero, de equilíbrio do mercado e de equilíbrio contábil da renda.

A condição de lucro zero requer que qualquer atividade em operação deve obter lucro zero, ou seja, o valor dos insumos deve ser igual (ou maior) que o valor da produção. Em termos de MCP, as seguintes condições devem ser satisfeitas para todos os setores de uma economia:

$$\text{lucro} \geq 0, y \geq 0, \text{produto}^T(-\text{lucro}) = 0 \quad (1)$$

Já a condição de equilíbrio dos mercados supõe que qualquer bem ou fator com preço positivo deve manter o equilíbrio entre oferta e demanda, e qualquer bem ou fator em excesso de oferta deve ter preço zero. Utilizando a abordagem de um MCP, a seguinte condição deve ser satisfeita para cada bem e cada fator de produção:

$$\text{oferta} - \text{demanda} \geq 0, p \geq 0, p^T (\text{oferta} - \text{demanda}) = 0 \quad (2)$$

Enquanto a condição de equilíbrio da renda considera que o valor da renda para cada agente (incluindo entidades do governo) deve ser igual ao valor das dotações de fatores e das receitas dos impostos:

$$\text{Renda} = \text{dotações} + \text{receitas dos impostos} \quad (3)$$

De forma simples, o problema de otimização do Modelo EPPA pode ser resumido pelo comportamento dos diversos agentes e setores. Em cada região (r) e em cada setor (i), uma firma representativa escolhe um nível de produto y , a quantidade de insumos primários (k) e insumos intermediários (x) de outros setores (j), para maximizar os lucros sujeito à sua restrição tecnológica. O problema da firma é dado por:

$$\max_{y_{ri}, x_{rji}, k_{rfi}} \pi_{ri} = p_{ri}y_{ri} - C_{ri}(p_{ri}, w_{rf}, y_{ri}) \text{ tal que } y_{ri} = \varphi_{ri}(x_{rji}, k_{rfi}) \quad (4)$$

onde π_{ri} e C_{ri} denotam as funções lucro e custo, respectivamente; e p_{ri} e w_{rf} são os preços dos bens e fatores, respectivamente.

No EPPA assume-se que a produção é representada por tecnologias com elasticidade de substituição constante (CES), que têm como característica intrínseca a homogeneidade linear e retornos constantes de escala. A homogeneidade linear da função custo, bem como a teoria da dualidade nos permite expressar o problema (4) em termos das funções custo e lucro unitário. Já a característica de retorno constante de escala implica que em equilíbrio as firmas obtêm lucro zero. Portanto, o comportamento otimizador da firma permite a obtenção da seguinte condição de equilíbrio:

$$p_{ri} = c_{ri}(p_{ri}, w_{rf}) \quad (5)$$

onde c_{ri} é a função custo unitário.

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

$$x_{rji} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial p_{rj}} \quad (6)$$

e a demanda pelo fator f é:

$$k_{rfi} = y_{ri} \frac{\partial c_{ri}}{\partial w_{rf}} \quad (7)$$

No caso dos consumidores privados, em cada região, um agente representativo possui dotações de fatores de produção e serviços, que podem ser vendidas ou arrendadas às firmas. Em cada período, o agente representativo escolhe os níveis de consumo e poupança que maximizam sua função de bem-estar sujeita à restrição orçamentária dada pelo nível de renda M_r :

$$\max_{d_{ri}, s_r} W_{ri}(d_{ri}, s_r) \text{ tal que } M_r = \sum_f w_{rf} K_{rf} = p_{rs} s_r + \sum_i p_{ri} d_{ri}, \quad (8)$$

onde s_r é a poupança, d_{ri} é a demanda final por mercadorias, K_{rf} é a dotação agregada de fatores do agente representativo na região r .

Como a produção e as preferências são representadas por funções CES, pela dualidade e pela propriedade da homogeneidade linear, para cada região há uma função dispêndio unitária ou índice de preço do bem-estar que corresponde à configuração da Equação 8, dada por:

$$p_{rw} = E_r(p_{ri}, p_{rs}) \quad (9)$$

Pelo Lema de Shephard, a demanda final compensada por bens é dada por:

$$d_{ri} = m_r^- \frac{\partial E_r}{\partial p_{rs}} \quad (10)$$

e para poupança é:

$$s_r = m_r^- \frac{\partial E_R}{\partial p_{rs}} \quad (11)$$

onde m_r^- é o nível inicial de gasto em cada região.

O sistema é fechado, com um conjunto de equações de equilíbrio de mercado que determina o equilíbrio de preços nos diferentes mercados de bens e fatores. A demanda final das categorias investimento, governo e comércio exterior, dessas equações são:

$$y_{ri} = \sum_j y_{rj} \frac{\partial C_{rj}}{\partial p_{ri}} + m_r^- \frac{\partial E_r}{\partial p_{ri}} \quad (12)$$

e

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

O modelo utiliza a sintaxe do algoritmo MPSGE (*Mathematical Programming System for General Equilibrium*, Rutherford, 1999). O MPSGE permite a representação de modelos complexos de equilíbrio geral em um formato tabular baseando-se em funções de utilidade e de produção aninhadas, de elasticidade de substituição constante (CES), o que torna a especificação do modelo mais compacta e menos sujeita a erros. Após a formulação do problema como um MCP, as informações são processadas no software GAMS (*General Algebraic Modeling System*, Brooke et al., 1998), o qual obtém a solução do problema como de programação não-linear (subconjunto dos problemas MCP).

2.2 Dados

O EPPA agrega o conjunto de dados econômicos do GTAP em 16 regiões e diversos setores e fatores, conforme apresenta a Tabela 1. Para uma melhor avaliação de políticas climáticas, novas desagregações foram realizadas, além das fornecidas pelo conjunto de dados do GTAP, como por exemplo, para as tecnologias do setor energético e de transportes. Foram inseridas novas tecnologias, consideradas potencialmente relevantes no futuro, mas que ainda possuem custos muito elevados no presente (tecnologias *backstop*), que podem aumentar suas participações no mercado de acordo com os preços energéticos ou das condições impostas pelas políticas climáticas. Além disso, desagregações setoriais consideram a separação de setores de serviços (SERV) e

transportes (TRAN) do setor de outras indústrias (OTHR), o que possibilita a realização de um estudo mais cuidadoso do potencial de crescimento destes setores ao longo do tempo, e de suas implicações para uma economia intensiva em energia.

Como destacado anteriormente, todos os setores produtivos, bem como o consumo final foram modelados utilizando-se funções de produção de elasticidade de substituição constante (CES) ou funções Cobb-Douglas e Leontief (que são casos especiais da função CES). Além disso, estruturas aninhadas para os setores foram consideradas, a fim de permitir diferentes níveis de substituição entre insumos e bens consumidos e a flexibilidade na utilização das elasticidades de substituição, particularmente, no que diz respeito aos combustíveis, eletricidade e aquelas elasticidades cujas emissões e custos de abatimento são especialmente sensíveis.

Quanto aos dados de energia, estes estão em unidades físicas e foram baseados nos balanços da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency, 2004, 2005*). Em decorrência da importância destas informações para realização do presente trabalho, os dados do GTAP para o Brasil foram comparados com bancos de dados nacionais, a partir de fontes como IBGE, IPEA e Ministério de Minas e Energia.

Já as estatísticas sobre os gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs e SF₆, entre outros) foram obtidas a partir dos inventários mantidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*US Environmental Protection Agency, 1999*).

Tabela 1 – Agregações Utilizadas pelo Modelo EPPA.

Regiões	Setores	Fatores
Anexo B	Não Energético	Capital
Estados Unidos (USA)	Culturas (CROP)	Trabalho
Canadá (CAN)	Rebanho (LIVE)	Terra
União Européia (EUR)	Silvicultura (FORS)	Óleo cru
Japão (JPN)	Alimento (FOOD)	Óleo xisto
Leste Europeu (ROE)	Serviços (SERV)	Carvão
Austrália & N. Zelândia (ANZ)	Intensivo em energia (EINT)	Gás natural
Não – Anexo B	Transporte (TRAN)	Hidráulica
Brasil (BRA)	Outras Indústrias (OTHR)	Nuclear
Rússia (RUS)	Energético	Eólica & Solar
Índia (IND)	Carvão (COAL)	
África (AFR)	Óleo cru convencional (OIL)	
China (CHN)	Óleo refinado (ROIL)	
Oriente Médio (MES)	Gás natural (GAS)	
Resto da Ásia (REA)	Combustível líq. de biomassa (BOIL)	
México (MEX)	Óleo de xisto (SOIL)	
América Latina (LAM)	Eletric.: Fóssil (ELEC)	
Leste Asiático (ASI)	Eletric.: Hidráulica (H-ELE)	
	Eletric.: Nuclear (A-NUC)	
	Eletric.: Eólica (W-ELE)	
	Eletric.: Solar (S-ELE)	
	Eletric.: Biomassa (biELE)	
	Eletric.: NGCC	
	Eletric.: NGCC – CCS	
	Eletric.: IGCC – CCS	

Fonte: Paltsev et al. (2005). Elaboração própria.

3. POLÍTICAS, SIMULAÇÕES E RESULTADOS

3.1. Cenários de políticas climáticas

No que se refere à redução das emissões de GEE, diversas alternativas têm sido discutidas nos debates internacionais, como a taxação de carbono, políticas *cap-and-trade*, o pleno funcionamento dos mercados de crédito de carbono, entre outros. Tais medidas podem ser eficientes no sentido de reduzir emissões e até mesmo, favorecer a realocação de insumos por opções de baixo carbono e promover a inovação e o desenvolvimento de tecnologias não intensivas em carbono.

O Brasil se comprometeu na Conferência das Partes (COP-15) realizada em Copenhague no final de 2009, em reduzir voluntariamente suas emissões de GEE de 36,1% a 38,9% até 2020 em relação ao que poluiria se nada fosse feito. Ainda, estabeleceu que a redução se dará em quatro grandes grupos: mudança no uso da terra e florestas (24,7% até 2020), agropecuária (4,9% a 6,1%), energia (6,1% a 7,7%) e siderurgia (0,3% a 0,4%). A soma dos percentuais de cada grupo iguala-se à meta de 36,1% a 38,9% a ser atingida até 2020.

No presente trabalho optou-se por simular cortes em emissões de GEE que permitam atingir as metas adotadas pelo governo brasileiro por meio de políticas de mercados de carbono específicas para cada setor individualizado do modelo EPPA. Para isso, calculou-se o total de redução nas emissões utilizando a meta global de 38,5%⁴ em relação às emissões observadas em 2020 em um cenário de referência (sem controle de emissões). A meta global de redução de emissões foi então distribuída de acordo com o percentual máximo estabelecido para cada setor, ou seja, 24,7% de redução para as emissões provenientes do desmatamento; 6,1% para a agricultura e 7,7% para os demais setores, conforme o compromisso assumido pelo Brasil na COP-15. Os cortes são implementados na forma de mercados de créditos carbonos, porém negociáveis apenas pelas firmas de um setor do modelo, mas não negociáveis entre firmas de diferentes setores, para manter as metas setoriais específicas. Simula-se o início da política em 2015 com a imposição de limites de emissões correspondentes à metade da meta para 2020.

Ainda, de forma a investigar a importância dos cortes em emissões provenientes do desmatamento, foram adotadas duas políticas distintas, aqui chamadas de COP-1 e COP-2. A primeira (COP-1) representa os cortes em emissões adotados pelo Brasil, conforme compromissado em Copenhague e descrito anteriormente. Já a segunda política (COP-2), faz o mesmo, porém, desconsidera as metas de redução de emissões do desmatamento. Tais políticas foram escolhidas com o intuito de avaliar os possíveis impactos econômicos da transição para uma economia de baixo carbono no país, considerando as metas compromissadas com e sem o controle do desmatamento, uma vez que este último é o responsável pela maior parte das emissões nacionais.

3.2. Resultados

A introdução de metas de redução de emissões a partir de 2015 se mostrou eficaz na redução das emissões brasileiras de GEE em relação ao cenário de referência (CR), o que é evidenciado pela mudança na trajetória de emissões de GEE do Brasil, conforme Figura 1.⁵

⁴ O modelo EPPA não apresenta o setor de siderurgia desagregado do setor da indústria intensivo em energia, por isso, optou-se por ignorar a meta brasileira de redução em emissões para este setor, que é de apenas 0,3% a 0,4%.

⁵ O modelo apresenta uma trajetória declinante de emissões entre 2010 e 2015 devido a uma queda inicial das emissões do desmatamento em 2015, que é consequência da calibragem do modelo relativa a

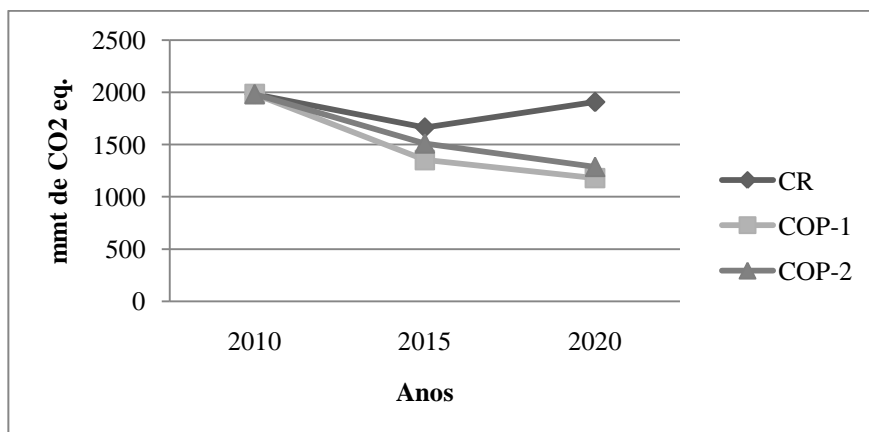


Figura 1 – Emissões totais de gases de efeito estufa.

Fonte: Resultado do modelo.

A política COP-1 apresentou redução de emissões mais pronunciadas quando comparada à política COP-2, em decorrência da primeira ser mais restritiva, pois, leva em consideração as metas de redução de emissões provenientes de desmatamento, ao passo que a segunda desconsidera tais metas. Este fato evidencia a importância do controle do desmatamento para reduzir de forma mais expressiva as emissões nacionais de GEE. Contudo, a diferença em emissões entre os cenários de políticas é pequena, uma vez que o percentual de redução obtido com a política mais abrangente (COP-1) é de cerca de 39% das emissões em relação ao cenário de referência no ano de 2020, como estipulado pela meta, enquanto a política sem controle de emissões do desmatamento (COP-2) atinge 34% de redução. Isso decorre, como será discutido mais adiante, do efeito indireto de redução no ritmo de expansão da fronteira agrícola que as metas de reduções sobre o setor agropecuário acabam promovendo, diminuindo o ritmo do desmatamento mesmo no cenário COP-2.

As metas brasileiras apresentadas em Copenhague visam contribuir com o esforço global de redução de emissões. Dessa forma, torna-se importante verificar como as emissões globais são impactadas, através da participação do Brasil nas emissões mundiais. Os resultados do trabalho apontam que se o Brasil atingir as metas compromissadas em Copenhague, representadas pelas políticas COP-1 e COP-2, haverá uma redução efetiva na participação brasileira nas emissões globais (Figura 2). A política COP-1 foi responsável pela redução mais expressiva da participação nacional nas emissões mundiais de GEE, por ser a política mais restritiva ao estabelecer o controle sobre emissões do desmatamento. Cabe destacar que o modelo EPPA prevê uma trajetória de redução da participação brasileira nas emissões mundiais em um cenário de referência sem políticas climáticas, o que pode ser explicado por dois fatores: redução gradativa das taxas de desmatamento observada na última década e o aumento das emissões do resto do mundo, principalmente em economias emergentes como China e Índia.

mudanças no uso da terra, uma vez que considera a trajetória declinante do desmatamento no período de 2005 a 2010.

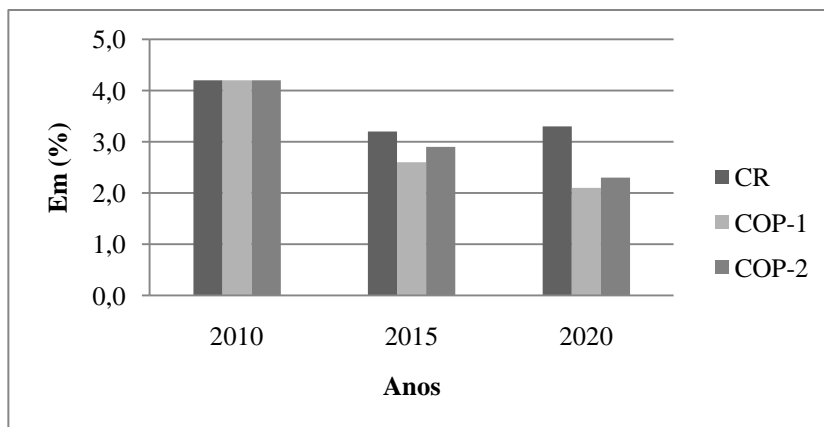


Figura 2 – Participação do Brasil nas emissões mundiais de GEE.

Fonte: Resultado do modelo.

A aplicação de metas de redução de emissões de GEE através do modelo EPPA foi realizada através de mercados de carbono (instrumento quantitativo), nos quais os agentes precisam render permissões (ou créditos) de emissões de carbono sempre que produzirem emissões no seu processo produtivo ou de consumo. Essas permissões de carbono são adquiridas pelas empresas e consumidores, cabendo aos mercados setoriais determinarem o preço das permissões de carbono (que seria equivalente ao nível de um imposto ao carbono), dada a demanda por essas permissões e a quantidade máxima permitida de emissões, estabelecida de forma a atingir a meta de redução de emissões. Dessa forma, o modelo estima para cada setor o preço do carbono, ou o valor do imposto ao carbono, que seria necessário para que as metas de restrições em emissões assumidas em Copenhague sejam cumpridas. A Tabela 2 apresenta os resultados de preço do carbono estimados pelo modelo.

Tabela 2 – Imposto sobre o carbono em 2015 e 2020 (em US\$/ton. de CO₂)

Anos	COP-1		COP-2	
	2015	2020	2015	2020
Culturas	65,09	74,54	65,11	75,53
Pastagens	73,53	83,68	73,85	83,33
Silvicultura	74,49	126,15	81,05	142,06
Ind. Alimentos	56,02	119,29	56,10	119,30
Ref de petróleo	2,80	8,03	2,80	8,02
Eletricidade	3,02	4,79	3,03	4,78
Set.Intens. Energ.	47,25	142,29	47,25	142,28
Outras ind.	35,26	118,66	35,26	118,65
Serviços	49,30	130,62	49,30	130,61
Transportes	46,17	125,13	46,17	125,13

Fonte: Resultado do modelo.

O estabelecimento de mercados de carbono setoriais com metas de emissões diferenciadas entre grupos de setores mostra-se pouco eficiente do ponto de vista econômico, uma vez que o preço a ser pago pelo carbono (ou imposto às emissões) mostra-se bastante divergente entre os setores. Uma política mais eficiente seria definir uma meta única de redução para toda a economia e permitir a compra e venda de créditos de carbono entre os diferentes setores. Dessa forma, setores com maiores capacidades de abater emissões seriam capazes de realizar maiores esforços de reduzir a poluição, e assim venderiam créditos de carbono para setores com menores possibilidades de abatimento.

Dentre os setores analisados, os de Serviços, Transportes, Indústria de Alimentos, Intensivos em Energia, Outras Indústrias e Silvicultura foram os que apresentaram os maiores valores de impostos às emissões, o que indica uma menor capacidade destes setores em alterar seus processos produtivos para reduzir emissões ou utilizar fontes alternativas de energia. Impostos de até US\$142/ton seriam necessários para atingir as metas de Copenhague, observados para o setor industrial mais intensivo em energia.

Uma vez analisado o comportamento dos níveis de preço, pode-se avaliar como os setores considerados responderam à introdução de políticas de redução de emissões, em termos de variação dos níveis de produção. Foi possível verificar que nas simulações realizadas, a maior parte dos setores apresentou reduções percentuais de produção em relação ao cenário de referência, com destaque para os setores de Refino de Petróleo, Gás, Transportes e Produção de Carvão (Tabela 3).

Os setores de Refino de Petróleo, Gás e Produção de Carvão apresentaram as maiores perdas, pois, como o consumo de energia fóssil fica mais caro a introdução das políticas, tais setores sofrem de forma mais intensa as restrições sobre emissões, resultando em perdas da ordem de 14,68%; 28,13% e 19,77% em 2020, respectivamente. Além destes, os setores de transportes e intensivos em energia também apresentaram reduções percentuais em relação ao cenário de referência com a introdução das políticas de restrição de emissões. Deve-se destacar que estes setores têm seu comportamento atrelado ao desempenho do setor energético, o qual apresentou uma forte retração principalmente quando se trata de fontes energéticas intensivas em carbono. Com a queda na produção desses setores, fatores primários de produção como capital e trabalho antes utilizados nesses setores são atraídos para setores que emitem proporcionalmente menos nos seus processos produtivos. Isso explica o pequeno aumento na produção de Outras Indústrias e Serviços.

Tabela 3 – Variação da produção com a introdução de CPI em relação ao CR (em %).

Setores	2015	2020
Culturas	-3,57	-12,10
Pecuária	-2,23	-10,22
Silvicultura	9,18	15,02
Ind. de alimentos	-1,59	-7,64
Produção de carvão	-10,90	-19,77
Petróleo	-4,53	-10,12
Refino de petróleo	-8,44	-14,68
Gás	-14,76	-28,13
Eletricidade	-1,09	-2,51
Set.intens. energia	-3,13	-6,66
Outras indústrias	0,72	2,22
Serviços	0,10	0,32
Transportes	-8,61	-17,57
Consumo das famílias	-0,22	-0,84

Fonte: Resultado do modelo.

Já os setores de Culturas, Pecuária e Indústria de Alimentos apresentam um padrão semelhante de redução percentual da produção em relação ao cenário de

referência. Cabe destacar que os dois primeiros representam a agricultura, segundo setor que mais emite GEE no Brasil, enquanto que o terceiro utiliza bens dos primeiros como insumos intermediários, o que explica a semelhança de comportamento. Já o setor de Silvicultura foi beneficiado pelas políticas, o que representa um aumento do incentivo ao desenvolvimento de atividades relacionadas ao manejo sustentável dos recursos naturais, bem como a liberação de recursos produtivos (área, trabalho e capital) dos setores de cultura e pecuária. Deve-se destacar que, apesar do preço elevado das permissões de carbono nesse setor, o mesmo é responsável por níveis bastante reduzidos de emissões, e portanto, acaba sendo relativamente favorecido em comparação com a pecuária e a produção de culturas.

Outro aspecto importante acerca da adoção de políticas de redução de emissões de GEE pelo Brasil é como tais políticas afetam as mudanças no uso da terra, uma vez que esta é responsável pela maior parte das emissões nacionais. As duas políticas simuladas apontam um aumento das áreas destinadas à silvicultura e de floresta natural em relação ao cenário de referência, o que pode sinalizar a eficácia das políticas na preservação de áreas de florestas naturais e como destacado anteriormente, na expansão das florestas plantadas e desenvolvimento de atividades relacionadas ao manejo sustentável pelo setor silvícola (Tabela 4).

Tabela 4 – Variação em áreas (mil ha) nos anos de 2015 e 2020.

Área	COP-1		COP-2	
	2015	2020	2015	2020
Culturas	-609	-4561	-609	-4561
Pastagens	-3076	-6426	-2456	-5806
Silvicultura	2317	7472	2240	7782
Floresta natural	1023	2857	480	1927
Cana-de-açúcar para etanol	313	597	313	596

Fonte: Resultado do modelo.

Ainda, os resultados obtidos indicam a importância do estabelecimento de políticas específicas para o controle do desmatamento como as apresentadas em Copenhague, as quais evitariam a perda de 2,8 milhões de hectares de áreas de florestas naturais com a política COP-1, enquanto essa perda evitada seria de apenas 1,9 milhões de hectares no caso política COP-2, na qual as metas contra emissões provenientes do desmatamento não são consideradas. Vale destacar que as áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para etanol também apresentaram variações positivas nas duas políticas simuladas, uma vez que esse biocombustível é renovável e emite menos que os derivados de petróleo.

Já as áreas destinadas ao cultivo e pastagens apresentaram perdas de áreas, quando comparadas ao cenário de referência, pela necessidade de internalização de novos custos como forma de reduzir suas emissões de GEE. A redução nas áreas destinadas a essas atividades nos cenários de políticas significam uma redução no ritmo de expansão da fronteira agrícola. É interessante notar, contudo, que a redução na área de culturas é a mesma nos dois cenários, enquanto as áreas de pastagens são mais afetadas na política COP-1, em que é necessário pagar o preço do carbono associado ao desmatamento. Esse resultado sugere que a expansão da pecuária predomina como fator de desmatamento no modelo no cenário de referência. Outra conclusão importante diante desses resultados é de que a imposição de um imposto ao carbono sobre os setores de culturas e pastagens já seria suficiente para reduzir grande parte do desmatamento. Porém, para atingir as metas estabelecidas em Copenhague de redução

do desmatamento, seriam necessárias ações adicionais de controle do avanço das áreas de pastagens.

Outro aspecto relevante da adoção de políticas de restrição de emissões é seu impacto sobre a economia. Verificou-se nos dois cenários simulados, uma redução do nível de atividade econômica, expressa pela variação negativa do PIB (Tabela 5).

Tabela 5 - PIB brasileiro em US\$ bilhões (de 2004) e sua taxa de variação em relação ao CR.

Anos	Em termos absolutos			Em termos percentuais		
	CR	CP1	CP2	CR*	CP1	CP2
2010	830,68	830,68	830,68	-	0,00	0,00
2015	1003,47	996,71	996,72	20,80	-0,67	-0,67
2020	1151,86	1129,26	1129,25	14,79	-1,96	-1,96

Fonte: Resultado do modelo.

* Variação em relação período anterior.

A partir da vigência da política (2015), o PIB brasileiro apresentou reduções percentuais em relação ao cenário de referência, atingindo perdas da ordem de 0,67% e 1,96% nos anos de 2015 e 2020, respectivamente. Essas perdas podem ser explicadas, pela redução da produção e perda de competitividade de setores importantes da economia como a agropecuária e a indústria intensiva em energia, bem como pela queda da renda das famílias. Considerando a redução atingida em emissões (39% e 34%), o sacrifício a ser realizado pelo país em termos de redução do PIB não se revela expressivo, apesar de também não ser desprezível, ou seja, a introdução de medidas de redução de emissões altera a trajetória de crescimento da economia brasileira. Este desempenho pode ser explicado por uma matriz energética intensiva em fontes de energia “limpa”, o que torna o país até certo ponto resiliente a eventuais choques como a imposição de restrições às emissões. É interessante notar que a adoção de uma política explícita de controle das emissões de mudanças no uso da terra, assumida aqui como uma cobrança de um imposto pelo carbono emitido com o desmatamento, praticamente não altera o resultado do PIB.

Por fim, os resultados obtidos mostram que a introdução de metas de redução de emissões, poderá implicar em redução dos níveis de bem-estar⁶ econômico, em relação ao cenário de referência, como evidenciado pela Figura 3. A inclusão de metas de redução do desmatamento não altera os resultados, ou seja, o esforço no sentido de enquadramento com as metas de Copenhague geram perdas em termos de bem-estar ordem de 0,85% no ano de 2020. Dessa forma, a adoção de metas de redução de emissões de GEE não implicará em grandes perdas econômicas e sociais para o Brasil, o que pode ser explicado pelo desempenho de alguns setores da economia, bem especificidades nacionais como: uma matriz energética com grande participação de fontes “limpas” de energia, a experiência bem sucedida na produção e utilização de biocombustíveis, o grande potencial para o desenvolvimento de atividades ligadas ao manejo sustentável (silvicultura), entre outros.

⁶ O bem-estar econômico está expresso em termos de variação equivalente. Tal medida, em termos menos técnico, procura indicar o aumento na utilidade dos consumidores domésticos, em termos de aumento do consumo. Mais formalmente, a variação equivalente hicksiana expressa a mudança na renda necessária para que se mantenha o mesmo nível de utilidade, aos preços de equilíbrio parcial, quando o consumidor enfrenta um novo conjunto de preços. Portanto, observam-se aumentos de bem-estar para valores positivos e redução de bem-estar para valores negativos.

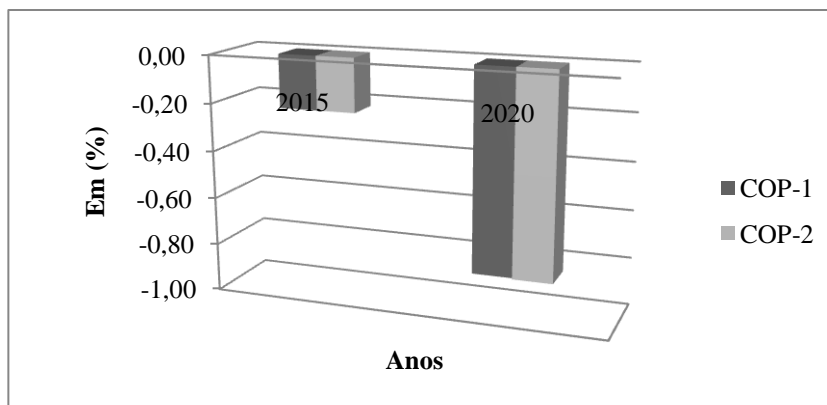


Figura 3 - Variação do bem-estar em relação ao CR (em %).

Fonte: Resultado do modelo.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho analisa os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil, considerando a possibilidade de restrições às emissões provenientes do desmatamento, conforme as metas de redução de emissões apresentadas na COP-15. Para isso utilizou-se um modelo aplicado de equilíbrio geral, construído para a mensuração dos impactos de políticas climáticas em diferentes países e regiões.

Os principais resultados mostraram que a introdução de metas de redução de emissões através de mercados de carbono setoriais foi eficaz para alterar a trajetória nacional de emissões e atingir as metas compromissadas, sobretudo quando ações explícitas de redução das emissões pelo desmatamento são incluídas. Tais políticas também se mostraram importantes para reduzir a participação brasileira nas emissões mundiais de GEE.

Verificou-se também que alguns setores como os de Serviços, Transportes, Indústria de Alimentos, Intensivos em Energia, Outras Indústrias e Silvicultura apresentaram os maiores valores de impostos às emissões, o que indica uma menor capacidade destes setores em utilizar fontes alternativas de energia. Em termos de produção, quase todos os setores apresentaram perdas, com destaque para os setores produtores de energia fóssil, quais sejam os de Refino de Petróleo, Gás e Produção de Carvão, com perdas de 14,68%; 28,13% e 19,77% em 2020, respectivamente.

Quanto aos impactos sobre as mudanças do uso da terra, a aplicação dos mercados de carbono, com ou sem a inclusão das emissões do desmatamento, favoreceram a preservação e aumento de áreas de florestas naturais e destinadas à silvicultura, em detrimento da agropecuária. Contudo, para que a meta de redução de Copenhague seja atingida, é necessário considerar o controle do desmatamento, que evita a expansão demasiada das áreas de pastagens. Cabe destacar o crescimento das áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar para produção de etanol, sendo este combustível uma importante alternativa para o alcance das metas de redução de emissões do país.

Por fim, observou-se uma queda de cerca de 2% no PIB e 0,8% no bem-estar das famílias brasileiras para atingir a meta de 39% de redução nas emissões brasileiras até 2020, o que indica que o sacrifício a ser realizado em termos de PIB e bem-estar é pouco expressivo, apesar de não ser desprezível, diante da redução em emissões. Esse resultado é consequência das poucas perdas econômicas no caso de uma redução no desmatamento, uma vez que existe grande potencial de intensificação da pecuária e melhorias de produtividades na agricultura, bem como de uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis de energia, com potencial de expansão da

produção de biocombustíveis. Ainda, vários aspectos não considerados no presente estudo poderiam contribuir para a redução dos custos de políticas climáticas no Brasil, bem como para o aumento na eficácia das mesmas, como por exemplo: a aplicação da política climática na forma de um mercado nacional de créditos de carbono, ao invés de mercados setoriais; o desenvolvimento de projetos de MDL e a implementação de atividades de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD), o aproveitamento da biomassa para geração de energia elétrica, como no caso do bagaço da cana-de-açúcar, e a aceleração do ritmo de ganho de eficiência energética, entre outros.

Cabe destacar que estes resultados não são conclusivos. Extensões do presente trabalho devem considerar a imposição de um mercado de créditos de carbono único no país, a implantação de mecanismos relacionados ao REDD e projetos de MDL, a imposição de políticas climáticas por outros países, o posicionamento do governo brasileiro ante a política de biocombustíveis e de produção de petróleo na camada pré-sal, entre outros.

BIBLIOGRAFIA

- BABIKER, M., J. REILLY and H. JACOBY. The Kyoto Protocol and developing countries. **Energy Policy**, v. 28, p. 525-536, 2000.
- BABIKER, M. H.; REILLY, J. M.; MAYER, M.; ECKAUS, R. S.; SUE WING, I. and HYMAN, R. C. **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Revisions, Sensitivities, and Comparisons of Results**. Cambridge, MA: MIT, 2001. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 71).
- BERNARD, A.; PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; VIELLE, M.; VIGUIER, L. **Russia's Role in the Kyoto Protocol**. Cambridge, MA: MIT, 2003. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 98).
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Informações Gerais e Valores Preliminares**. 2009b.
- BROOKE, A. KENDRICK, D., MEERAUS, A., RAMAN, R. **GAMS: a user's guide**. GAMS Development Corporation, p. 262, 1998.
- DIMARANAN, B.; MCDOUGALL, R. **Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP5 data base**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, 2002.
- EMCB. **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades** / editado por Sérgio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch.– São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. 82 p.
- FEIJÓ, F. T. ; PORTO Jr., S. S. Protocolo de Quioto e o Bem Estar Econômico no Brasil Uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável. **Análise Econômica (UFRGS)**, v. 51, p. 127-154, 2009.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007a.

851 pp. Disponível em: < <http://www.ipcc-wg3.de/publications/assessment-reports/ar4/working-group-iii-fourth-assessment-report>>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook: 2004**. OECD/IEA: Paris, 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Balances of Non-OECD Countries** (2005 edition) OECD/IEA: Paris, 2005.

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

KYNDLAND, Finn E. & PRESCOTT, Edward C. The Computational Experiment: An Econometric Tool. **Journal of Economic Perspectives**, v.10, n.1, p. 69-85, 1996.

NORDHAUS, William. **The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy in the DICE-2007 Model**. Manuscript, may 2007.

MATHIESEN, L. Computation of Economic Equilibrium by a Sequence of Linear-Complementarity Problems, **Mathematical Programming Study** **23**, Amsterdam, 1985.

MORAES, G. I. **Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável**. 2010. 103 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

LOPES, Ricardo L. **Efeitos de uma restrição na emissão de CO₂ na economia brasileira**. 2003. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP, Piracicaba.

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; TAY, K. H. **The Cost of Kyoto Protocol Targets: the Case of Japan**. Cambridge, MA: MIT, 2004. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 112).

PALTSEV, S.; REILLY, J.; JACOBY, H.; ECKAUS, R.; MCFARLAND, J.; SAROFIM, M. *et al.* **The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4**. Cambridge, MA: MIT, 2005. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 125) Disponível em: <http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt125.pdf>

PALTSEV, S.; REILLY, J. M.; JACOBY, H. D.; MORRIS, J. F. **The Cost of Climate Policy in the United States**. Cambridge, MA: MIT, 2009. (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report 173) Disponível em: <http://globalchange.mit.edu/files/document/MITJPSPGC_Rpt173.pdf>

ROCHA, Marcelo T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, jan. 2003.

- RUTHERFORD, Thomas. F. Extensions of GAMS for Complementarity Problems Arising in Applied Economic Analysis, **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 19, n. 8, p. 1299-1324, 1995.
- _____. 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.
- SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. L. Applied General Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey, **Journal of Economic Literature** v. 22, p. 1007-1051, 1984.
- TOURINHO, O. A. F.; DA MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. Texto para discussão n. 976. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/pub/td/2003/td_0976.pdf>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Clean Development Mechanism**. 2011. Disponível em: <http://cdm.unfccc.int>
- UNITED NATIONS (UN). **Long-Run World Population Projections: Based on the 1998 Revision**. New York, 2000.
- _____. **World Population Prospects: The 2000 Revision**, Data in digital form. New York: Population Division, Department of Economic and Social Affairs, 2001.
- US Environmental Protection Agency. **Inventory of US Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1997**, Technical Report EPA 236-R-99-003, Office of Policy, Planning and Evaluation, Washington DC 1999.
- VIGUIER, L.; BABIKER, M.; REILLY, J. The costs of the Kyoto Protocol in the European Union. **Energy Policy**, v. 31, n. 5, p. 393-483, 2003.
- WING, I. S. **Computable General Equilibrium Models and Their Use in Economy-Wide Policy Analysis**. Cambridge, MA: MIT, 2004 (MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, 2004. Technical Note 6).