

# Tributação sobre gases de efeito estufa no Brasil: uma abordagem de equilíbrio geral computável\*

Ana Carolina Borges Marques Ribeiro\*\*

*Doutora em Economia do Desenvolvimento pelo Programa de Pós Graduação em Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PPGE-PUCRS)*

Paulo Henrique de Oliveira Hoeckel\*\*\*

*Doutor em Economia do Desenvolvimento pelo PPGE-PUCRS*

Gustavo Inácio de Moraes\*\*\*\*

*Doutor em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP) Professor do PPGE-PUCRS*

## Resumo

No Brasil, entre 2005 e 2010 houve um aumento de mais de 12% na emissão de gases de efeito estufa oriundos de atividades industriais e agropecuárias. Com o objetivo de analisar os principais impactos econômicos de uma política ambiental que vise à redução de emissões de gases efeito estufa foi utilizado um modelo de equilíbrio geral computável estático tanto em nível macroeconômico como setorial, através de uma simulação do efeito de uma tributação sobre a emissão destes gases na economia brasileira. Os resultados sugerem uma diminuição de mais de 6,31% no PIB real devido a um aumento de 3% na alíquota sem considerar nenhuma mudança tecnológica no período. O índice de preços teve um aumento de 0,73% e o consumo total das famílias teve uma redução de 11,96%. A análise setorial da Produ-

---

\* Artigo recebido em ago. 2016 e aceito para publicação em jan. 2018.



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.

Open Acces (Acesso Aberto)

\*\* E-mail: carolbmribeiro@hotmail.com

\*\*\* E-mail: ph.hoeckel@gmail.com

\*\*\*\* E-mail: gustavo.moraes@pucls.br

ção mostrou que Outros Serviços e Indústria da Transformação seriam os setores com maior impacto negativo. Já a Agropecuária, maior setor poluente, teria um pequeno impacto devido a esta política.

## **Palavras-chave**

**Meio ambiente; gases de efeito estufa; tributação**

### ***Abstract***

*In Brazil, between 2005 and 2010 there was an increase of over 12% in the emission of greenhouse gases from industrial and agricultural activities. In order to analyze the main economic impacts of an environmental policy aimed at reducing emissions of greenhouse gases was used a static general equilibrium model both at macroeconomic level and sector, through a simulation of the effect of taxation on the issue these gases in the Brazilian economy. The results suggest a reduction of more than 6,31% in real GDP due to an increase in the rate of 3% without considering any technological change in the period. The price index increased by 0.73% and total household consumption fell by 11.96%. The sectoral analysis showed that production and Other Services and Industry Transformation would be the sectors with the greatest negative impact. The Agricultural, most polluting sector would have a small impact due to this policy.*

### ***Keywords***

***Environment; the greenhouse gases; taxation***

**Classificação JEL: C68, D58, H23**

## **1 Introdução**

O aquecimento global, provocado pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) atinge proporções cada vez maiores. A literatura acerca do tema ainda não alcançou um consenso quanto as reais implicações que tais níveis de emissões de gases trarão para as condições de vida na Terra,

entretanto, são grandes as preocupações devido aos seus impactos negativos.

Em paralelo, a adoção de políticas ambientais restritivas pode afetar o grau de competitividade dos países através da alteração do padrão de comércio, em decorrência da variação dos preços relativos. As empresas ao internalizarem os custos relativos à redução de emissão de GEE, obrigatoriamente, repassam seus custos adicionais para os preços de seus produtos (FEIJÓ; JÚNIOR, 2009).

Considerando que políticas restritivas quanto à emissão de GEE tendem a alterar o bem-estar econômico relativo, a presente pesquisa se propõe a investigar os impactos de uma política tarifária sobre a emissão de GEE a partir de um modelo econômico quantitativo. Escolheu-se a modelagem de Equilíbrio Geral Computável (EGC), que utiliza a teoria econômica de equilíbrio geral como uma ferramenta operacional em análises de orientação empírica sobre questões relacionadas a economias de mercado, como alocação de recursos, fluxos comerciais, mudança tecnológica, distribuição de renda, entre outras.

A aplicação de modelos de EGC é proveniente da estrutura de equilíbrio geral Walrasiana, sendo iniciada na década de 1950 por Kenneth Arrow, Gerard Debreu, entre outros. A ideia inicial era utilizar modelos hipotéticos de uma determinada economia avaliando os impactos que determinadas políticas resultariam na economia real (TOURINHO; MOTTA; ALVES, 2003).

Nas últimas décadas, conforme Perobelli *et al.* (2009), os modelos de equilíbrio geral computável tem se tornado um campo estabelecido de estudo da economia aplicada, eles têm sido amplamente utilizados para analisar uma variedade de questões colocadas pelos planejadores e formuladores de política econômica. Dentre as questões tratadas pelos modelos de EGC é possível elencar as relativas à: formação de blocos de comércio; emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); degradação do meio ambiente; impostos; tarifas; questões energéticas e outras.

Um modelo de EGC sistematiza o conjunto de relações de interdependência entre os mercados de um sistema econômico, o qual se originará de um equilíbrio referencial. A partir desta premissa torna-se possível analisar os impactos decorrentes da variação das variáveis exógenas nas variáveis endógenas.

Sadoulet e De Janvry (1995) descrevem as aplicações deste tipo de modelagem no exame dos efeitos diretos e indiretos advindos de alterações nas políticas públicas, como choques tarifários, modificações nas alíquotas de impostos e, ou, subsídios e mesmo alterações de natureza tecnológica.

Desde a década de 1990, tal modelagem vem sendo utilizada também para análises de políticas ambientais e de alocação de recursos naturais.

No Brasil, entre 2005 e 2010 houve um aumento de mais de 12% na emissão de GEE oriundos de atividades industriais e agropecuárias. Desta forma, este artigo tem por objetivo, criar cenários alternativos via simulação, para avaliar o possível impacto em variáveis macroeconômicas, decorrentes da aplicação de uma alíquota tributária setorial de 1% e 3%, levando em consideração a quantidade bruta setorial emitida de GEE. Além disso, as simulações consideram o efeito de uma mudança tecnológica concomitante com adoção de alíquotas de impostos devido à emissão de GEE.

Este artigo contribui com o estudo sobre o tema ao utilizar valores estimados conforme métrica aceita internacionalmente e não somente como fator de poluição setorial. Os volumes aqui utilizados são estimados independentes de coeficiente em relação ao produto de cada setor. Diferentemente da literatura existente, em que eram contabilizados somente emissão de gases efeito estufa oriundos de combustíveis fósseis, no presente artigo são utilizadas as estimativas de emissões de GEE do setor agropecuário, este setor tem uma participação expressiva na emissão de gases efeito estufa principalmente devido à fermentação entérica de gado e é relevante a inclusão destas emissões para corretas simulações de impacto de tributação em toda a economia brasileira.

Buscando alcançar tais objetivos o presente estudo está organizado em quatro seções, além desta introdução. A segunda seção apresenta a as causas, efeitos e relação dos GEE com a economia. Na terceira seção apresenta-se os dados e a metodologia de trabalho utilizada. A quarta seção são apresentados os resultados alcançados, e as considerações finais.

## **2 Efeito estufa: causas, efeitos e relação com a economia**

### **2.1 Contextualização histórica do efeito estufa**

Questões relativas a mudanças climáticas remontam as eras glaciais. Não se sabe exatamente qual a real contribuição das atividades humanas no sistema climático da Terra. Entretanto, diversos cientistas alegam a existência de evidências da ação do homem, com a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) também conhecido como gás carbônico, bem como dos demais GEE, em grandes quantidades na atmosfera, como sendo a

principal causa das variações climáticas verificadas nos últimos anos. Alguns dados empíricos ajudam a validar tal conclusão, como por exemplo, um aumento de 0,5°C da temperatura na superfície do globo terrestre nos últimos cem anos e as concentrações atmosféricas de GEE terem aumentado 30% nos últimos duzentos anos (TOURINHO; MOTTA; ALVES, 2003).

O alto desenvolvimento tecnológico verificado na economia mundial impulsionou o crescimento econômico de diversas nações. Entretanto, ao mesmo tempo em que houve avanços significativos em termos de geração de renda, melhorias na qualidade de vida e na área de ciência e tecnologia, verificou-se impactos ambientais diversos, como, por exemplo, uma significativa alteração da estrutura climática do planeta. Tais alterações, acarretadas pelo aquecimento global vêm impactando fortemente o bem estar das pessoas. Em virtude destas considerações, especialistas das mais distintas áreas, buscam uma maneira de os países continuarem seu desenvolvimento econômico de forma equilibrada com questões ambientais (COUTINHO, 2009).

No início da década de 90, a Confederação das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a qual foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, debateu acerca das mudanças climáticas que vinham acontecendo no mundo até então. Na mesma linha, na Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) foram apresentadas, para adesão e assinatura dos respectivos países membros da organização, as bases da convenção sobre mudança do clima (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climal Change*) CEBDS, 2002a).

A convenção teve como meta propor a redução, ou pelo menos a estabilização, da emissão de GEE. No ano de 1997 foi realizada a terceira conferência das partes, a qual, com a adesão de 39 países desenvolvidos, foi celebrada a assinatura do Protocolo de Kioto. A partir deste, os países signatários comprometeram-se em reduzir, entre os anos de 2008 e 2012, a emissão de GEE. Com o objetivo de que eles se tornassem, em média, 5,2% inferiores aos níveis alcançados no ano de 1990.

Entretanto, no ano de 2002, o presidente americano Jorge Bush rejeitou o protocolo assinado, com a alegação de que o mesmo oferecia sérios riscos para a economia mundial, defendendo que o crescimento econômico não seria a causa, e sim a solução para problemas ambientais.

O Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima, por meio de lei em 2009, definindo o compromisso nacional voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir suas emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até ano de 2020.

A análise dos possíveis desdobramentos de uma política ambiental que vise à redução de emissão de GEE no Brasil é necessária para que seja minimizada a incerteza econômica acerca deste fenômeno. Além disso, a publicação, em 2013, da Estimativa Anual de Emissão de GEE para o Brasil foi uma ferramenta fundamental para elaboração do presente estudo. A seguir são apresentados os principais trabalhos sobre tributação e meio ambiente.

## 2.2 Efeito da tributação sobre questões ambientais

A comunidade científica mundial tem tido constante preocupação com os efeitos da atividade econômica sobre o meio-ambiente, sendo o mais relevante à mudança climática, oriunda da emissão de GEE. As evidências empíricas das últimas duas décadas apontam como responsável pela concentração de GEE na atmosfera a atividade humana, sendo essa acumulação apontada como a causa mais provável de variações da temperatura e de outros eventos inesperados relacionados ao clima nos últimos anos, sendo que os impactos dessas mudanças estão previstos para afetar e mudar o clima em diversas regiões ao redor do globo.

Nesse contexto, a utilização da abordagem de equilíbrio geral tem ganhado força na avaliação impactos das políticas ambientais em uma economia. O aumento no interesse por este tema se justifica pelo fato que uma política ambiental que tenha por objetivo reduzir as emissões de GEE pode ter efeitos sobre preços, quantidades, além da estrutura da economia, visto que, o comportamento dos agentes é também afetado pelas emissões de poluição na produção e consumo, e também por políticas e/ou medidas de controle de poluição.

Entre os principais estudos presentes na literatura internacional que estudam os efeitos de políticas de redução de emissão de GEE, pode-se destacar: Pearce (1991); Nordhaus (1993); McDougall (1993); Fankhauser (1994); Wyckoff e Roop (1994); Fischer, Kerr e Toman, (1998); McCarl e Schneider (2000); Godal e Holtmark (2001); O'Connor *et al.* (2002); Burtraw *et al.* (2003); Demirbaş (2003); Bruvold e Larsen (2004); Metcalf (2007, 2009); Metcalf *et al.* (2008); Scott, Peeters e Gössling (2010) e Wirsenius, Hedenus e Mohlin (2011). Entre os quais, considerando os mais recentes e pertinentes para o presente estudo estão Burtraw *et al.* (2003), Bruvold e Larsen (2004), Scott, Peeters e Gössling (2010) e Wirsenius, Hedenus e Mohlin (2011).

As ações para retardar a acumulação atmosférica de GEE também reduziriam os poluentes atmosféricos convencionais que produzem benefícios "auxiliares" que tendem a se acumularem localmente e no curto prazo.

Usando um modelo de eletricidade detalhado vinculado a um quadro de avaliação integrado para valorizar as mudanças na saúde humana, Burtraw *et al.* (2003) encontraram um imposto de US\$ 25 por tonelada métrica de emissões de carbono que produziria benefícios de saúde relacionados a  $\text{NO}_x$  de cerca de US\$ 8 por tonelada métrica de carbono reduzida no ano de 2010. Poupanças adicionais de US\$4 - \$7 advêm de investimentos reduzidos em redução de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$  para cumprir os limites de emissão. Os benefícios auxiliares totais de um imposto de carbono de US\$ 25 são de US\$ 12 a US\$ 14, o que parece justificar os custos de um imposto de US\$ 25, embora os benefícios marginais sejam inferiores aos custos marginais. Com um imposto de US\$ 75, maiores benefícios totais são alcançados, mas o valor por tonelada de redução de carbono permanece aproximadamente constante em cerca de US\$ 12.

Bruvold e Larsen (2004) analisaram o efeito específico dos impostos de carbono na Noruega, decompondo as emissões observadas de  $\text{CO}_2$ , metano e  $\text{N}_2\text{O}$  mais importantes no período 1990-1999, e usaram uma simulação de equilíbrio geral aplicada. Embora as emissões totais tenham aumentado, os resultados mostram uma redução significativa nas emissões por unidade de PIB ao longo do período devido à redução da intensidade energética, mudanças no *mix* de energia e redução dos processos de emissões. Apesar dos consideráveis impostos e aumentos de preços para alguns tipos de combustível, o efeito do imposto sobre o carbono foi modesto, dado que, os impostos sobre o carbono contribuíram para apenas 2% do total da redução.

Scott, Peeters e Gössling (2010) examinaram os objetivos de redução de emissões de GEE postulados por uma série de organizações que procuram reduzir as consequências das mudanças climáticas globais e se o setor turístico global pode atingir sua participação nesses objetivos. A análise revelou que, com as atuais tendências de emissões de alto crescimento no turismo, o setor pode se tornar uma importante fonte global de GEE no futuro se outros setores econômicos obtiverem reduções significativas de emissões. O sucesso na obtenção de reduções de emissões no turismo é bastante dependente das principais mudanças nas políticas e práticas nas viagens aéreas, e os objetivos de redução de emissões de turismo declarados não são viáveis sem alterações volumétricas, considerando o potencial de redução de emissões técnicas atualmente projetado para o setor de aviação.

Considerando que a agricultura é responsável por 25 a 30% das emissões antropogênicas globais de GEE, mas tem sido isenta das políticas climáticas, Wirseniuss, Hedenus e Mohlin (2011) avaliaram o potencial de mitigação de emissão de impostos de consumo ponderados de GEE sobre

produtos alimentares para animais na União Europeia (UE), estimando também a diminuição da área de terras agrícolas através das mudanças relacionadas na produção de alimentos e o potencial adicional de mitigação na devolução desta terra à produção de bioenergia. As estimativas são baseadas em um modelo de consumo de alimentos e as emissões relacionadas com o uso do solo e GEE na UE. Os resultados indicaram que as emissões agrícolas na UE podem ser reduzidas em aproximadamente 32 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente com um imposto ponderado de GEE sobre produtos alimentares para animais correspondentes a 60 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente. O efeito do imposto é estimado em seis vezes maior se as culturas lignocelulósicas forem cultivadas na terra disponibilizada e usadas para substituir o carvão na geração de energia.

No Brasil, a literatura sobre o tema é mais recente, entre os estudos que consideram restrições às emissões de GEE pode-se destacar: Guilhoto *et al.* (2002); Tourinho, Motta e Alves (2003); Rocha (2003); Feijó e Porto Jr. (2009); Silva e Gurgel (2012), Grottera (2013), Magalhães e Domingues (2013), Wills (2013) e Gurgel (2014).

A seguir apresentam-se algumas dessas aplicações, considerando as mais relevantes para a análise proposta no presente estudo, de forma resumida.

Com a implementação de políticas de mitigação de poluição atmosférica, apoiadas em uma política de tributação sobre carbono no modelo de EGC estático desenvolvido no IPEA, Tourinho, Motta e Alves (2003) analisaram os principais impactos econômicos - tanto em nível macroeconômico como setorial — de uma política ambiental que visa à redução de emissões de CO<sub>2</sub> na economia brasileira. Os cenários para a economia consistiram na aplicação de três diferentes taxas sobre a quantidade de carbono emitida por setor (US\$ 3, US\$ 10 e US\$ 20 por tonelada de carbono, respectivamente). Com a adoção das políticas, obteve-se uma redução no nível de emissões de carbono no modelo, uma transferência de recursos de setores mais intensivos, em emissões para setores menos intensivos com alterações nos níveis de preços acompanhando esta tendência, uma queda no valor da renda das famílias, uma diminuição no valor do PIB para a economia e um aumento do investimento total.

Silva e Gurgel (2012) e Gurgel (2014) estimam os impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil, utilizando o modelo global EPPA, desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). Silva e Gurgel (2012) utilizam simulações com metas de redução de emissões progressivas de 3% a 30% no período de 2015 a 2050, representam impostos que chegam a US\$ 209, US\$151 e US\$ 142 por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente em 2050 nos setores de serviços, transportes e intensivos em



energia, respectivamente. Os resultados mostram que as metas geram impactos negativos pequenos, levando a uma perda acumulada de 1% a 2% do PIB. Gurgel (2014) apresenta resultados que indicam que políticas de metas de redução de emissões, dependendo dos prazos para o alcance das metas, podem ter efeitos mais severos em termos do custo da política. Uma meta de redução de emissões em torno de 5% para a agropecuária e uso de energia conjugado a uma queda de 56% nas emissões derivadas do uso da terra até 2020, representam custos pequenos em relação ao PIB (-0,2% em relação ao cenário base). Com a intensificação das metas as perdas são crescentes, chegando a 4% do PIB em 2050. As simulações revelam, ainda, mudanças estruturais importantes na economia em 2050, no qual setores ligados a combustíveis fósseis e transportes são os mais afetados.

Grottera (2013) utiliza uma matriz de contabilidade social para o Brasil em 2005 para analisar o impacto sobre a distribuição de renda no Brasil da implementação de um valor cobrado sobre a tonelada de CO<sub>2</sub> e emitida. São simuladas duas opções: transferência direta para as famílias de baixa renda e desoneração de impostos trabalhistas. De forma complementar, são analisados os impactos sobre o PIB, os níveis de emprego e as emissões de GEE. Os resultados diferem tanto em função do nível de taxa estabelecida quanto em função da forma como a receita arrecadada com a medida é reinserida na economia.

Magalhães e Domingues (2013) estudam as políticas climáticas de redução de emissões, que nos últimos tempos tem ganhado proeminência no cenário internacional, como as políticas de precificação de carbono (impostos de carbono), e os custos inerentes a estas políticas. No caso brasileiro, os resultados apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”.

Wills (2013) analisa o impacto de políticas climáticas abrangentes, como uma taxa de carbono ou um mercado de cota de emissões de GEE sobre a economia do Brasil. Em especial são analisados os efeitos da política sobre indicadores macroeconômicos como o PIB, a dívida pública, a inflação e a taxa de desemprego, além de avaliar os efeitos sobre a produção dos principais setores da economia brasileira. Para avaliar os efeitos decorrentes dessa política o modelo IMACLIM-S BR foi desenvolvido pelo autor. Os resultados encontrados indicam que a forma que o governo utiliza as receitas de carbono influencia de forma importante o impacto da política climática na economia e nas emissões de GEE.

Assim, a contribuição do presente estudo está em utilizar o volume total de CO<sub>2</sub> equivalente emitido e compatibilizar estas emissões aos doze

setores na matriz-insumo produto de 2010, os volumes utilizados são estimados independentes de coeficiente em relação ao produto de cada setor.

A seção seguinte apresenta os dados e a metodologia utilizada no presente estudo.

## 3 Dados e método

### 3.1 Dados

Os dados da emissão de gases efeito estufa foram extraídos da Estimativa Anual de emissão de GEE para o ano de 2013, elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Fazem parte do relatório de estimativas todos os GEE<sup>1</sup>. Para compará-los e somá-los, foi utilizada a métrica usual do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*) atualmente utilizada para inventários nacionais como fator de ponderação, para se chegar à unidade comum, o equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> equivalente).

No inventário os setores são divididos em Energia, Processos Industriais, Agropecuária, Mudança de Uso da Terra e Florestas e Tratamento de Resíduos. Para compatibilizá-los com setores da Matriz Insumo-Produto obedeceu-se à lógica de aproximá-los por afinidade. No entanto não foram contabilizadas as emissões do setor Mudança de Uso da Terra e Florestas, pois o intuito deste estudo é analisar o efeito de uma tributação nas atividades econômicas que emitem GEE ao longo do seu processo produtivo. A Tabela 6, que está disponível no Apêndice explicita como foram realizadas as agregações entre os setores disponíveis no Inventário com os 12 setores da Matriz Insumo-Produto de 2010. Não é possível analisar os resultados de forma mais desagregada do que em doze setores pois os dados de emissão de gases não possuem este nível de detalhamento.

A Matriz Insumo-Produto do Brasil para o ano de 2010, utilizada no presente estudo, é oriunda do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Ao utilizar valores estimados conforme métrica aceita internacionalmente e não somente como fator de poluição setorial este artigo contribui para o estudo do tema no Brasil. Os volumes aqui utilizados são estimados independentes de coeficiente em relação ao produto de cada setor. Abaixo

---

<sup>1</sup> No relatório não são estimados os GEE indireto.

segue a Tabela 1 que compara as estimativas calculadas no relatório e as estimativas utilizadas para o modelo de simulação de tributação.

Tabela 1

Valores das estimativas utilizadas no modelo

	Volume Gg CO2 eq.
Relatório (sem Florestas)	967.303,03
Valores utilizados	939.288,22
Diferença	28.014,81
% não utilizado	2,9%

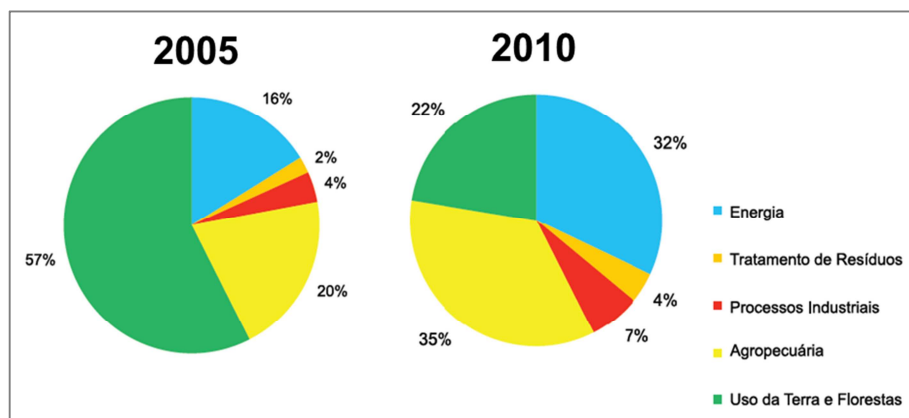
FONTES DOS DADOS BRUTOS: Estimativa de emissões de GEE no Brasil -2013.

Como se pode observar menos de 3% das estimativas não foram contabilizadas devido à falta de informação do setor poluente.

A Figura 1 apresenta a participação de cada setor produtivo conforme divisão feita nas Estimativas anuais de emissões de GEE no Brasil – 2013 do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Pode-se verificar que as emissões em CO<sup>2</sup> equivalente dos setores Processos Industriais e Agropecuária tiveram um aumento de 2005 para 2010.

Figura 1

Comparação das emissões entre 2005 e 2010 por setor

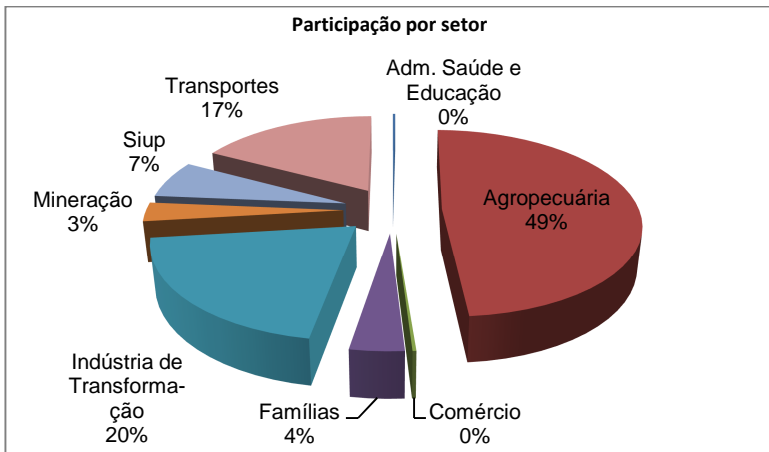


FONTES: MTI - Estimativas anuais de emissões de GEE no Brasil (2013).

Conforme dito anteriormente, as emissões do setor Uso da Terra e Florestas não serão utilizadas para efeito de simulação de uma tributação. Abaixo segue a Figura 2 que apresenta o percentual de emissões de gases para cada setor produtivo da Matriz Insumo-Produto.

Figura 2

Participação de cada setor da Matriz insumo-produto na simulação de tributação



FORNTE DOS DADOS BRUTOS: Estimativa de emissões de GEE no Brasil - 2013

Diferentemente da literatura existente, em que eram contabilizados somente emissão de gases efeito estufa oriundos de combustíveis fósseis, no presente artigo são utilizadas as estimativas de emissões de GEE do setor agropecuário, esse setor tem uma participação expressiva na emissão de gases efeito estufa principalmente devido à fermentação entérica de gado e é relevante a inclusão destas emissões para corretas simulações de impacto de tributação em toda a economia brasileira.

O cenário-base utilizado no estudo é a Matriz Insumo-Produto brasileira do ano de 2010, foram então feitos choques no longo prazo com a inclusão das alíquotas tributárias de 1% e 3% devido à emissão de GEE com o objetivo de analisar os principais impactos econômicos, tanto em nível macroeconômico como setorial, de uma política ambiental que vise à redução de emissões de gases efeito estufa na economia brasileira.

### 3.2. Método

Com o objetivo de avaliar os efeitos de uma tributação sobre emissão de GEE na economia brasileira no ano de 2010 foi utilizado um modelo de equilíbrio geral estático MINIMAL, originariamente construído por Hodridge (2001), entretanto foi adaptado para a economia brasileira, denominado MINIBR.

Para construção do cenário-base ele foi alimentado com dados da Matriz Insumo-Produto de 2010. No modelo foram feitos dois choques,

prevendo um aumento de 1% e de 3% na alíquota de impostos, considerando o volume total de CO<sub>2</sub> equivalente emitido por cada setor. Além disso, foi testada uma mudança tecnológica prevendo um aumento de produtividade. Os modelos de equilíbrio geral caracterizam a economia de uma forma simplificada considerando o comportamento dos agentes e mercados. Os modelos de equilíbrio geral mostram ser uma ferramenta analítica poderosa, a qual pode ajudar a obter uma melhor compreensão das questões econômicas do mundo real (BURFISHER, 2011).

O MINIMAL baseia-se em um conjunto de equações que representam as condições de equilíbrio de mercado para produtos e fatores primários, demandas dos produtores por insumos e por fatores primários, as demandas finais, a relação entre os preços, custo de produção e impostos e algumas variáveis macroeconômicas.

O modelo MINIBR não distingue modalidades de impostos considerando apenas dois (um sobre a produção, outro sobre a importação) e sua estrutura de produção é dada inicialmente por uma função de Leontief entre as diferentes matérias primas necessárias à produção de cada setor e os fatores primários, que no modelo são apenas trabalho e capital. Num segundo nível as matérias primas podem ser formadas por dotações importadas e domésticas em uma relação de elasticidade substituição constante (CES), bem como essa relação de elasticidade de substituição constante é observada nos fatores primários de produção, ou seja, entre trabalho e capital. Os modelos de equilíbrio geral computável fazem uso extensivo de três tipos principais de funções, a saber: funções CES; funções Cobb-Douglas; e funções LEONTIEF (ou a coeficientes fixos).

Neste artigo foram utilizadas as funções CES e LEONTIEF que contém Elasticidade de Substituição Constante, Retornos Constantes à Escala, e as elasticidades de ARMINGTON para produtos domésticos e importados.

No caso da função Leontief, a taxa de substituição é fixa, o que permite que o modelo utilizado observe os efeitos das mudanças dos impostos sob a produção nos setores da economia. Para a demanda de famílias o modelo considera unidades maximizadoras, cuja estrutura de demanda comporta-se como uma função Cobb-Douglas entre os diferentes produtos demandados pelas famílias. Em um segundo nível há uma elasticidade de substituição constante entre a demanda em particular de cada produto para produto importado ou doméstico. Ademais, o modelo supõe uma estrutura de mercado em competição perfeita, com as famílias consumindo toda a renda obtida e do lado da produção o custo do produto corresponde ao seu preço.

A seguir, na Tabela 2, são apresentadas as elasticidades usadas para realizar as simulações propostas no presente estudo.

Tabela 2

SETOR	Elasticidades	
	ELASTICIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DOMÉSTICO/IMPORTADO (ARMIGTON)	ELASTICIDADE DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE FATORES PRIMÁRIOS (CAPITAL/TRABALHO)
1 Agropecuária	1,91	0,24
2 Mineração	0,80	0,20
3 Indústria da Transformação	1,82	1,26
4 Siup	1,90	1,26
5 Construção Civil	1,90	1,40
6 Comércio	1,90	1,68
7 Transportes	1,90	1,68
8 Serviços de Informação	1,90	1,26
9 Intermediação Financeira	1,90	1,26
10 Outros Serviços	1,90	1,26
11 Atividades Imobiliárias	1,90	1,26
12 Adm. Saúde e Educação	1,90	1,26

FONTES DOS DADOS BRUTOS: Elasticidades do MINIBR.

Para dados de elasticidade de fatores primários, elasticidades de Armigton e elasticidades de demanda por exportações foram utilizadas estimações disponibilizadas por Horridge (2008) através do trabalho MINIBR, os quais podem ser observados na Tabela 2. Para setores de Mineração, Indústria da Transformação e Outros Serviços foram feitos cálculos da média simples entre outros setores que são correlatos com os descritos acima.

## 4. Resultados

Nesta seção, inicialmente são apresentados os resultados macroeconômicos e setoriais, e posteriormente é realizada as considerações finais a cerca dos resultados. Assim, cabe destacar que no modelo MINIMAL, os preços de todos os bens são expressos em termos de um preço que é definido como *numeraire*. Na simulação realizada no presente estudo, utilizou-se como tal a Taxa de Câmbio. Primeiramente, é realizado o teste de homogeneidade e calibração, no qual o modelo mostrou-se calibrado e homogêneo, dado que um choque sobre o *numeraire* teve impacto equivalente em todas as variáveis nominais, verificando-se a inexistência de flutuações nas variáveis reais, garantindo-se assim a homogeneidade do modelo.

## 4.1 Resultados macroeconômicos

Os resultados são apresentados na Tabela 3 e mostram alterações nas variáveis macroeconômicas, como era esperado. Os resultados sugerem uma diminuição de 6,31% no PIB real devido à tributação de 3% sobre emissão de gases efeito estufa, sem considerar nenhuma mudança tecnológica no período. O índice de preços teve um aumento de 0,73% e o consumo total das famílias teve uma redução de 11,96%, o que pode ser explicado pela redução do salário real da economia.

Foram feitos também cenários prevendo um avanço tecnológico, para isso a produtividade dos fatores primários foi aumentada. Os resultados demonstram que há uma maior eficiência, porém para haver neutralidade do efeito negativo da tributação seria necessário um grande avanço tecnológico.

Tabela 3

Resultados macroeconômicos de Longo Prazo (Variações %)

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	ALÍQUOTA DE 1%		ALÍQUOTA DE 3%	
		Sem mudança tecnológica	Com mudança tecnológica	Sem mudança tecnológica	Com mudança tecnológica
p3tot	Índice de preços ao consumidor	0,23	0,01	0,73	0,04
w3tot	Consumo total das famílias	-4,16	-1,46	-11,96	-4,34
p4tot	Índice de preços das exportações	0,83	0,36	2,57	1,11
x0cif_c	Índice de volume das importações	-1,57	-0,47	-4,45	-1,40
x0gdpexp	PIB real pelo lado da despesa	-2,17	-0,74	-6,31	-2,22
x3tot	Consumo real das famílias	-4,34	-1,47	-12,61	-4,38
x4tot	Índice de volume das exportações	-2,42	-0,88	-6,98	-2,61

FONTES DOS DADOS BRUTOS: Resultados extraídos do Gempack.

É interessante observar que no cenário da aplicação de uma alíquota de 3% sobre a emissão de GEE, as variações macroeconômicas se tornam ainda mais expressivas, em especial em relação ao consumo real das famílias que tem uma redução de aproximadamente 12,6%, com mudança tecnológica esse efeito é amenizado, passando para uma queda de aproximadamente 4,4%.

No longo prazo implica que o mercado de fatores, trabalho e capital varie respectivamente para o salário real e taxa de retorno do capital, ambas convergindo para um equilíbrio entre os diversos setores.

## 4.2 Resultado setorial

O resultado na produção setorial, apresentado na Tabela 4, mostra que setores relacionados a Serviços seriam aqueles com maior variação negativa, este resultado é interessante, pois é contra intuitivo uma vez que o setor Agropecuária que é o mais poluente não apresentara os maiores impactos em sua produção. Pode-se observar que um aumento de tributos gerou uma redução na produção para todos os setores poluentes, sendo o setor Comércio o que sofreria a maior redução, com uma variação de -3,18% sem mudança tecnológica e a Indústria com -1,21% no caso do cenário que contempla mudança tecnológica.

Tabela 4

Resultados na Produção por setor para a alíquota de 1%

SETOR	VARIÇÃO %	
	Sem mudança tecnológica	Com mudança tecnológica
1 Agropecuária	-1,79	-0,61
2 Mineração	-1,98	-0,73
3 Indústria da Transformação	-2,99	-1,21
4 Siup	-2,65	-0,91
5 Construção Civil	-0,12	-0,04
6 Comércio	-3,18	-0,96
7 Transportes	-2,06	-0,67
8 Serviços de Informação	-2,48	-0,69
9 Intermediação Financeira	-2,55	-0,63
10 Outros Serviços	-2,48	-0,29
11 Atividades Imobiliárias	-2,93	-0,94
12 Adm. Saúde e Educação	0,00	0,00

FONTE DOS DADOS BRUTOS: Resultados extraídos do Gempack.

Quando são incluídas mudanças tecnológicas, observa-se que o impacto é suavizado, porém somente um grande avanço tecnológico poderia neutralizar o efeito de uma tributação sobre emissão de GEE.

Com base na Tabela 4, é possível verificar que os setores Agropecuária, Mineração, Construção Civil, Transportes e Adm. Saúde e Educação tiveram uma redução na produção, em média, menor que do que a economia, vide a redução de 2,17% e 0,74% do PIB real, sem e com mudança tecnológica respectivamente, com alíquota de 1% (Tabela 3), enquanto os demais setores tiveram uma redução na produção maior do que a média da economia.

Ainda analisando os resultados setoriais, a seguir é apresentada a Tabela 5. É possível verificar que os setores domésticos mais afetados, com



relação à demanda, são Comércio, Indústria da Transformação e Atividades Imobiliárias, reduzindo a demanda em: -3,18%, -2,99% e -2,92%, respectivamente, no caso de uma alíquota de 1% e sem mudança tecnológica.

Quando a alíquota é de 3% a variação na demanda chega a -9,21%, -8,64% e -8,53%, respectivamente, sem mudança tecnológica. Os setores com maior redução na demanda por importação são Outros Serviços, Serviços de Informação e Intermediação Financeira, sendo esta de -5,58%, -3,08% e -3,08%, respectivamente, com alíquota de 1% e sem mudança tecnológica, chegando a -15,75%, -8,83% e -8,80%, respectivamente, quando a alíquota é de 3%.

Tabela 5

Resultados na Demanda por setor (Variações %)

SETOR	ALÍQUOTA DE 1%				ALÍQUOTA DE 3%			
	Sem mudança tecnológica		Mudança tecnológica		Sem mudança tecnológica		Mudança tecnológica	
	Do-méstico	Importado	Do-méstico	Importado	Do-méstico	Importado	Do-méstico	Importado
1 Agropecuária	-1,79	-1,46	-0,61	-0,71	-5,06	-4,11	-1,80	-2,10
2 Mineração	-1,98	-2,38	-0,73	-1,01	-5,79	-6,88	-2,15	-3,00
3 Indústria da Transformação	-2,99	-1,09	-1,22	-0,15	-8,64	-3,07	-3,59	-0,43
4 Siup	-2,65	-1,04	-0,91	-0,48	-7,65	-2,93	-2,70	-1,45
5 Construção Civil	-0,12	-0,54	-0,04	-0,52	-0,36	-1,46	-0,11	-1,52
6 Comércio	-3,18	-2,66	-0,96	-1,71	-9,21	-7,71	-2,82	-5,10
7 Transportes	-2,06	-2,01	-0,69	-0,84	-5,98	-5,81	-2,03	-2,50
8 Serviços de Informação	-2,48	-3,08	-0,68	-1,53	-7,26	-8,83	-2,04	-4,52
9 Intermediação Financeira	-2,55	-3,08	-0,63	-1,78	-7,47	-8,80	-1,88	-5,27
10 Outros Serviços	-2,48	-5,58	-0,29	-3,01	-7,34	-15,75	-0,88	-2,25
11 Atividades Imobiliárias	-2,92	-2,56	-0,94	-1,06	-8,53	-7,36	-2,25	-8,79
12 Adm. Saúde e Educaçã	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FONTES DOS DADOS BRUTOS: Resultados extraídos do Gempack.

Pode-se observar, de modo geral, que ao se prever um avanço tecnológico na demanda total pelo bem, o impacto é suavizado, porém não anula o efeito da tributação. Como era de se esperar uma alíquota mais alta gera maiores impactos na demanda dos setores.

O impacto negativo maior nos setores de Atividades Imobiliárias e Outros Serviços sugerem que o efeito decorre das inter-relações industriais. Embora a estrutura tributária onere proporcionalmente menos estes setores.

## 5 Considerações finais

Este estudo mostrou os efeitos de uma tributação sobre a emissão de gases efeito estufa no Brasil para o ano de 2010, permitindo uma análise do impacto de uma política que vise à redução de poluição no Brasil. Em termos macroeconômicos os cenários simulados mostraram que a imposição de uma alíquota de tributação resultaria em variações majoritariamente negativas, com reduções importantes nas variáveis de consumo das famílias e PIB real.

A análise setorial da produção mostrou que Outros Serviços e Indústria da Transformação seriam os setores com maior impacto negativo. Já a Agropecuária, maior setor poluente, teria um pequeno impacto, o que pode se explicado pelo fato da estrutura tributária brasileira onerar menos esse setor. Ao avaliar os resultados em relação à produção por setor, é possível verificar que a alíquota traz um resultado negativo a todos os setores, mesmo havendo uma mudança tecnológica. Isso indica que é preciso não só haver uma alíquota que tribute a emissão de GEE, mas também que este imposto sirva como um fator inibidor de tais emissões, no sentido de amenizar o possível resultado que esta traria para o bem estar social do país.

Em trabalhos futuros pretende-se construir cenários com outras elasticidades de substituição dos produtos primários, melhores ajustadas para o longo prazo, gerando uma análise mais ampla sobre políticas de redução de poluição via tributação para o caso brasileiro.

## Apêndice

**Tabela 6.** Estimativas de gases de efeito estufa para Brasil no ano de 2010

Macrosetor	Setor	Microsetor	Setor Matriz Insumo-produto	Volume Gg CO2 equivalente p/ o choque
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas de serviço público	Siup	20.846
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas autoprodutoras	Siup	10.349
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Industrial	Indústria da Transformação	100.196
Energia	Queima de Combustíveis	Mineração	Mineração	8.710
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Transporte	Transportes	160.180
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Residencial	Famílias	18.589
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Agricultura	Agropecuária	17.778
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Comercial	Comércio	2.346
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Público	Adm. Saúde e Educação	2.088
Energia	Emissões Fugitivas	Mineração e Carvão	Mineração	1.341
Energia	Emissões Fugitivas	Extração e transp petróleo e gás	Mineração	13.126
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas de serviço público	Siup	26
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas autoprodutoras	Siup	1
Energia	Queima de Combustíveis	Carvoarias	Mineração	3.864
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Industrial	Indústria da Transformação	1.819
Energia	Queima de Combustíveis	Mineração	Mineração	3
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Transporte	Transportes	259
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Residencial	Famílias	1.945
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Agricultura	Agropecuária	449
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Comercial	Comércio	34
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Público	Adm. Saúde e Educação	1
Energia	Emissões Fugitivas	Mineração e Carvão	Mineração	1.014
Energia	Emissões Fugitivas	Extração e transp petróleo e gás	Mineração	2.415
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas de serviço público	Siup	0
Energia	Queima de Combustíveis	Centrais elétricas autoprodutoras	Siup	0
Energia	Queima de Combustíveis	Carvoarias	Mineração	0
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Industrial	Indústria da Transformação	2.028
Energia	Queima de Combustíveis	Mineração	Mineração	0
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Transporte	Transportes	1.074
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Residencial	Famílias	527
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Agricultura	Agropecuária	186
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Comercial	Comércio	16
Energia	Queima de Combustíveis	Subsetor Público	Adm. Saúde e Educação	3
Energia	Emissões Fugitivas	Mineração e Carvão	Mineração	0
Energia	Emissões Fugitivas	Extração e transp petróleo e gás	Mineração	62
Processos industriais	Processos industriais	Processos industriais	Indústria da Transformação	82.048
Agropecuária	Agropecuária	Fermentação etérica	Agropecuária	246.569
Agropecuária	Agropecuária	Manejo e Desejos de animais	Agropecuária	21.284
Agropecuária	Agropecuária	Solos agrícolas	Agropecuária	154.091
Agropecuária	Agropecuária	Cultura do arroz	Agropecuária	8.788
Agropecuária	Agropecuária	Queima de cana e algodão	Agropecuária	6.495
Tratamento de resíduos	Tratamento de resíduos	Lixo	Siup	29.336
Tratamento de resíduos	Tratamento de resíduos	Esgoto industrial	Indústria da Transformação	5.779
Tratamento de resíduos	Tratamento de resíduos	Esgoto doméstico	Famílias	13.622

Fonte: Elaboração própria com dados da Estimativa de emissões de gases de efeito estufa no Brasil - 2013.

## Referências

BRUVOLL, Annegrete; LARSEN, Bodil Merethe. Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work?. **Energy policy**, v. 32, n. 4, p. 493-505, 2004.

BURFISHER, M. E. Introduction to Computable General Equilibrium Models. New York: Cambridge University Press, 2011.

BURTRAW, Dallas et al. Ancillary benefits of reduce air pollution in the US from moderate greenhouse gas mitigation policies in the electricity sector. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, n. 3, p. 650-673, 2003.

COUTINHO, L. A capa de gases de efeito estufa sobre o planeta constitui na verdade, uma falha maciça de mercado. O que os economistas pensam sobre sustentabilidade. São Paulo: Ed. 34, 2010. 288 p.

DEMIRBAŞ, Ayhan. Energy and environmental issues relating to greenhouse gas emissions in Turkey. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 1, p. 203-213, 2003.

FANKHAUSER, Samuel. The social costs of greenhouse gas emissions: an expected value approach. **The Energy Journal**, p. 157-184, 1994.

FEIJÓ, F. T.; JÚNIOR, S. P. O Protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil – uma análise utilizando equilíbrio geral computável. Revista Análise Econômica, Porto Alegre, ano 27, n.51, p. 127-154, março de 2009.

FISCHER, C.; KERR, S.; TOMAN, M. Using emissions trading to regulate US greenhouse gas emissions: An overview of policy design and implementation issues. **National Tax Journal**, p. 453-464, 1998.

GODAL, O.; HOLTSMARK, B. Greenhouse gas taxation and the distribution of costs and benefits: the case of Norway. **Energy Policy**, v. 29, n. 8, p. 653-662, 2001.

GROTTERA, Carolina. **Impactos de Políticas de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa sobre a Desigualdade de Renda no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

GUILHOTO, J. J., LOPES, R., SEROA DA MOTTA, R. **Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira, 2002-12**. Rio de Janeiro: IPEA, 2002(Texto para Discussão 892).

GURGEL, A. C. Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o Brasil. In: Anais do XL Encontro de Economia da Associação Nacional dos Centros de Pós-graduação em Economia. ANPEC, 2014.

HORRIDGE, M. 2008. **MINIBR: Um modelo simplificado de equilíbrio geral para a economia brasileira**. São Paulo, Editora da USP, 88 p.

HORRIDGE, M. Computing Guide for MINIMAL using Customized RunGEM. Cops-Impact, Australia, 2001.

HORRIDGE, M.; POWELL, A. MINIMAL, A Simplified General Equilibrium Model. Cops Impact, Australia, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>.

MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. **Texto para discussão**, n. 491, 2013.

MCCARL, B. A.; SCHNEIDER, U. A. US agriculture's role in a greenhouse gas emission mitigation world: An economic perspective. **Review of Agricultural economics**, v. 22, n. 1, p. 134-159, 2000.

MCDUGALL, R. A. **Energy taxes and greenhouse gas emissions in Australia**. Victoria University, Centre of Policy Studies/IMPACT Centre, 1993.

METCALF, Gilbert E. A proposal for a US carbon tax swap. **Brookings Institution. Hamilton Project Working Paper**, 2007.

METCALF, Gilbert E. Designing a carbon tax to reduce US greenhouse gas emissions. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 3, n. 1, p. 63-83, 2009.

METCALF, G. E.; PALTSEV, S.; REILLY, J.; JACOBY, H.; HOLAK, J. F. **Analysis of US greenhouse gas tax proposals**. National Bureau of Economic Research, 2008.

MTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0226/226591.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf)>. Acesso em: 02/08/2016.

NORDHAUS, William D. Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the " DICE" model. **The American Economic Review**, v. 83, n. 2, p. 313-317, 1993.

O'CONNOR, R. E.; BORD, R. J.; YARNAL, B.; WIEFEK, N. Who wants to reduce greenhouse gas emissions?. **Social Science Quarterly**, v. 83, n. 1, p. 1-17, 2002.

PEARCE, David. The role of carbon taxes in adjusting to global warming. **The Economic Journal**, v. 101, n. 407, p. 938-948, 1991.

PEROBELLI, F. S. et al. **Variações na produtividade e impactos sobre o setor de energia: uma análise de Equilíbrio Geral**. TD. 003/2009. Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada - FE/UFJF, 2009.

ROCHA, M. 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.

SADOULET, Elisabeth; DE JANVRY, Alain. **Quantitative development policy analysis**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1995.

SCOTT, D.; PEETERS, P.; GÖSSLING, Stefan. Can tourism deliver its “aspirational” greenhouse gas emission reduction targets?. **Journal of Sustainable Tourism**, v. 18, n. 3, p. 393-408, 2010.

SILVA, J. G; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 42, n. 1, 2012.

TOURINHO, O. A. F.; MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Texto para discussão n° 976, IPEA, Rio de Janeiro, agosto, 2003.

WILLS, William. **Modelagem dos efeitos de longo prazo de políticas de mitigação de emissão de gases de efeito estufa na economia do Brasil**. 2013. Tese de Doutorado (Doutorado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

WIRSENIUS, Stefan; HEDENUS, Fredrik; MOHLIN, Kristina. Greenhouse gas taxes on animal food products: rationale, tax scheme and climate mitigation effects. **Climatic change**, v. 108, n. 1, p. 159-184, 2011.

WYCKOFF, Andrew W.; ROOP, Joseph M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products: implications for international agreements on greenhouse gas emissions. **Energy policy**, v. 22, n. 3, p. 187-194, 1994.

