

O Protocolo de Quioto e o Bem-Estar Econômico no Brasil - uma Análise Utilizando Equilíbrio Geral Computável

Flávio Tosi Feijó*
Sabino Porto Júnior**

Resumo: O objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação ex-ante dos impactos no bem-estar econômico e no meio ambiente que as reduções de emissões de CO₂ tratadas pelo Protocolo de Quioto podem trazer para o Brasil. Cenários alternativos são construídos para a simulação de redução de emissões de CO₂ para os signatários do Protocolo, admitindo ainda a possibilidade de execução de um dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo de Quioto – o comércio de emissões. O instrumento utilizado para as simulações – GTAP-E – é uma versão modificada do GTAP (Global Trade Analysis Project). Os resultados obtidos corroboraram a hipótese que a política ambiental de redução de emissões, traz a um trade-off entre eficiência alocativa e meio ambiente limpo. Para o Brasil, os resultados mostraram que a melhor estratégia para participar do processo de redução de emissões seria a de o país estar inserido diretamente em um dos mecanismos de flexibilidade do Protocolo.

Palavras-chave: GTAP-E, Protocolo de Quioto, Comércio, Meio Ambiente.

Abstract: The main goal of this paper is to evaluate the welfare economic and environmental impacts of the CO₂ emissions reductions that are fixed in Kyoto Protocol can bring to Brazil. Scenarios are drawn for the simulation of the CO₂ emissions reductions among the Kyoto Protocol subscribers. Besides that, they allow the possibility of execution of one of the Kyoto Protocol flexibility mechanisms – the emissions trade. The tool used is a modified version of GTAP (Global Trade Analysis Project) – the GTAP-E (energy). The results confirm the hypothesis that, although the environmental policy of emissions reductions contributes to the decreasing of CO₂ in the atmosphere, it affects negatively the economic welfare of the signatory countries. When it comes to Brazil, the simulations show that the best option would be to participate directly in the emissions trade set in Kyoto Protocol.

Keywords: GTAP-E, Kyoto Protocol, Trade, Environment.

JEL Classification: F18, Q56, R13

* Professor e Pesquisador do ICEAC da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. E-mail: tosilf@yahoo.com.br.

** Professor do PPGE da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. E-mail: portojr@ufrgs.br.

1 Introdução

O Protocolo de Quioto, vigente desde fevereiro de 2005 (quando passou a se chamar Tratado de Quioto), propõe explicitamente a limitação das emissões de gases do efeito estufa para um grupo de países conhecidos como “países do Anexo 1”. Essa redução teria como meta atingir níveis algo em torno de 5% abaixo de seus níveis de emissão de 1990. Segundo o Protocolo de Quioto, tal objetivo teria de ser alcançado durante o período entre 2008 e 2012. Para ajudar a atingir esse alvo de redução de emissões pelos países do Anexo 1, o Protocolo de Quioto estabeleceu ainda a possibilidade de utilização dos “mecanismos de flexibilidade”. Os mecanismos de flexibilidade são instrumentos que permitem que os países com maiores custos de abatimento de emissões possam utilizar a redução de emissões de outros países com menores custos.

O fenômeno do aquecimento global é real e vem tomando proporções cada vez maiores, mesmo não sabendo as reais implicações para as condições de vida na terra, a preocupação com as suas consequências é inevitável. Contudo, entende-se hoje que a causa desse fenômeno decorre diretamente do efeito estufa provocado por acúmulo de CO_2 na atmosfera, seja provocado pelo desmatamento em grande escala, seja pelo uso de combustíveis fósseis ou pelo excesso de atividade industrial poluidora. No estágio atual de conhecimento, conclui-se que grande parte das emissões dos chamados “gases do efeito estufa” (GEE) que provocam o aquecimento do Planeta – em especial o dióxido de carbono (CO_2) – é gerada pela produção e pelo consumo de energia. Dessa forma, a imposição de políticas de cunho ambiental, mais especificamente as que incentivem a redução de emissão de CO_2 , apresenta-se como uma saída inescapável. Contudo, com a tecnologia disponível, restringir a emissão de CO_2 , pode trazer como consequência indesejada uma mudança no grau de competitividade dos países através da alteração do padrão de comércio causada pela variação dos preços relativos. Isso aconteceria porque, ao internalizar o custo de redução de emissões (impostos), a empresa transmitiria esse custo para o preço de seu produto. E as variações nos preços de bens ambientalmente sensíveis, tais como as commodities de energia e os produtos que as utilizam intensivamente, através do mecanismo do comércio internacional, tendem a se propagar para outras economias. A restrição de emissão de gases, portanto, tende a gerar alterações no bem-estar econômico relativo, tanto nos países envolvidos diretamente, através

da internalização dos custos, quanto naqueles envolvidos indiretamente, via canais de comércio ou participação através dos mecanismos de flexibilidade. Esse cenário pode, inclusive, mudar o equilíbrio de forças no comércio mundial e pode criar óbices reais para a efetiva implementação das propostas originais do Tratado de Quioto que, aparentemente, são sensatas e apontam para os incentivos corretos e necessários.

Compreende-se, portanto, que o entendimento ou a análise dos possíveis desdobramentos que a efetivação de um acordo de proporção global como o Protocolo de Quioto pode gerar é muito importante para minimizar a incerteza acerca do impacto do mesmo e para avançar na construção de acordos estáveis e autoimplementáveis, além de ajudar a resolver os eventuais problemas de coordenação envolvidos. Em nível mundial, o estudo dos impactos comerciais e econômicos decorrentes de acordos ambientais, e impactos ambientais resultantes de acordos comerciais já é um tema bastante pesquisado. Desde o estudo de Grossman e Krueger (1991), tornou-se comum a decomposição do impacto ambiental do comércio em três elementos que interagem entre si: efeito composição, efeito escala e efeito técnica. O efeito composição trata da especialização que é induzida pelo comércio internacional. Entende-se por efeito escala o aumento na poluição decorrente do crescimento da atividade econômica gerado pelo comércio. À relação indireta entre aumento da renda e a adoção de novas tecnologias para redução da poluição, dá-se o nome de efeito técnica.

Perroni e Wigle (1994) construíram um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) para a economia mundial com externalidades global e local para investigar os impactos do comércio internacional na qualidade do meio ambiente. Seus resultados mostraram que, apesar de o livre-comércio ter um efeito negativo na qualidade ambiental, sua contribuição relativa para degradação ambiental é muito pequena. Os autores também encontraram que a magnitude dos efeitos das políticas ambientais no bem-estar não é significativamente afetada por mudanças nas políticas de comércio. Dessus e Bussolo (1998) desenvolveram um modelo EGC para examinar se existe um trade-off entre a liberalização comercial e o abatimento de poluição na Costa Rica. Eles mostraram que a futura integração da Costa Rica com a economia mundial representa um grande risco de degradação ambiental se a mesma não for acompanhada por reformas institucionais voltadas à preservação do meio ambiente. Strutt e Anderson (1999), utilizando a base de dados do GTAP (Global Trade Analysis Project),

analisaram os impactos dos acordos de comércio na água e no ar da Indonésia. Comparando dois cenários alternativos, os autores mediram os impactos ambientais resultantes da completa implementação dos acordos comerciais da Rodada do Uruguai, em 2010, e do livre comércio das Nações Mais Favorecidas (NMF) pelos países da APEC (Asian Pacific East Countries), em 2020. O resultado geral foi que a reforma nas políticas de comércio na Indonésia, nas próximas duas décadas, melhoraria a qualidade do ar e da água, além de reduzir a depredação dos recursos naturais da Indonésia. Kuit (2001) investigou os impactos da implementação do Protocolo de Quioto sobre o “escape de carbono” com e sem o livre-comércio (Rodada do Uruguai), utilizando o GTAP-E (Energia). Foram constituídos três cenários. O primeiro (cenário referência) retratou a economia em 2010, assumindo crescimento dos fatores de produção e progresso técnico. No segundo cenário, são implementadas as metas estabelecidas no Protocolo. No terceiro, ocorre, de forma simultânea, a implementação do Protocolo de Quioto e a Rodada do Uruguai.

No Brasil, essa abordagem pode ser considerada ainda incipiente e, especialmente quando se trata dessa problemática utilizando o instrumental de EGC, podem-se destacar os trabalhos de Seroa da Motta (2002) e Tourinho et al. (2003). O primeiro utilizou os resultados obtidos na simulação de Tourinho e Kume (2002) para medir os impactos macroeconômicos e setoriais da liberação do comércio no âmbito da ALCA sobre o meio ambiente brasileiro. No segundo os autores adaptam o modelo de Tourinho e Andrade (1998) através da inserção de um vetor de intensidade de poluição contendo coeficientes de poluição setoriais para avaliar os impactos econômicos de uma política de tributação sobre emissões de CO₂ na economia brasileira.

Assim, o objetivo deste trabalho é fazer uma avaliação ex-ante dos potenciais impactos sobre o bem-estar econômico do Brasil, decorrente das reduções de emissões de CO₂ defendidas ou exigidas pelo Protocolo de Quioto. O instrumento a ser utilizado para as simulações é uma versão modificada do modelo GTAP (Global Trade Analysis Project) de Hertel (1997), chamado de GTAP-E (energia).

Além desta introdução, este trabalho apresenta, na seção seguinte, uma breve revisão da literatura acerca da metodologia utilizada para a simulação dos cenários. Na seção 3, são mostradas as descrições dos mesmos e, na seção 4, os resultados das simulações para o Brasil. Finalmente, são apresentadas as considerações finais.

2 O modelo: equilíbrio geral e meio ambiente

A hipótese básica de boa parte da bibliografia sobre políticas ambientais é a de que as mesmas podem modificar a competitividade internacional relativa dos países. Nesse sentido, Weyant e Hill (1999) dividem os modelos para avaliar as consequências das políticas de redução de emissão de carbono em duas dimensões: a representação da economia e a representação dos setores de energia e o processo de geração de CO₂. Quanto aos primeiros, a representação varia de modelos muito simples, como uma função de produção ou custo agregado, a modelos de equilíbrio geral multissetoriais. No que se refere à representação do CO₂/energia, as aplicações variam de simples aplicações de coeficientes de poluição (multiplicações de coeficientes de carbono por dólar no produto da indústria tal) a detalhados submodelos do setor de energia.

A análise econômica sugere que a imposição e a consequente utilização de políticas ambientais, pelos países e pelas firmas nesses países, aumenta o custo de produção local e, assim, reduz a possibilidade de especialização de países na produção de bens que exigem atividades poluidoras. Ou seja, como afirma Siebert (1977), países com políticas ambientais menos rígidas têm sua vantagem comparativa aumentada em bens ambientalmente sensíveis (bens produzidos em indústrias “sujas”). Entretanto, esta concepção padrão de comércio é desafiada por uma recente visão revisionista. Porter e van der Linde (1995), por exemplo, argumentam que políticas ambientais rígidas levam as firmas e a economia como um todo a tornarem-se mais competitivas, através do incentivo à inovação em tecnologias ambientais menos poluidoras que, além disso, seriam mais produtivas. Os autores destacam casos de empresas que, forçadas por regulações mais exigentes, conseguiram reduzir seus custos de produção.

Essa controvérsia, sobre o real impacto de políticas ambientais mais restritivas, também é um questão que está longe de ser conclusiva e também necessita de maior investigação empírica. O instrumental de EGC permite que se façam simulações com o uso de políticas ambientais alternativas, o que possibilita uma maior compreensão do verdadeiro impacto de determinadas políticas ambientais sobre a competitividade geral dos países e a competitividade específica de setores que compõem o padrão de comércio dos países. A implementação dessas simulações geralmente pode ser feita através da construção de cenários em que são introduzidos “choques”

em variáveis exógenas representativas de impostos sobre atividades que geram poluição. Os choques funcionam como desequilíbrios gerados exogenamente no modelo para que, endogenamente, as condições de equilíbrio se restabeleçam através da variação de preços, quantidades ofertadas e demandadas nos vários níveis da atividade econômica, como consumo privado, produção, poupança e gastos governamentais, obtendo-se assim uma primeira visão do impacto setorial e regional das políticas propostas. O efeito final é obtido com a análise da variação do bem-estar através, principalmente, da decomposição nos termos de troca e dos efeitos alocativos daquelas mudanças exógenas.

2.1 O GTAP aplicado ao meio ambiente¹

O GTAP é um modelo padrão multirregional de equilíbrio geral aplicável que assume retornos constantes de escala e competição perfeita nas atividades de produção.² O funcionamento da economia global do GTAP pode ser explicado por meio da análise de uma região arbitrária e de seus relacionamentos com as outras regiões, através da imposição de condições de equilíbrio entre os agentes globais. Em cada região, existem indústrias utilizando fatores primários e insumos intermediários, tanto produzidos localmente quanto importados. Os fatores primários são de propriedade dos agentes domésticos (representados por um “agente regional”), que também recebem todas as receitas de impostos recolhidas na região e fazem todas as transferências para o resto do mundo.

Os agentes alocam suas rendas para o consumo privado, consumo do governo (através do financiamento de todos os gastos do governo) e poupança. O governo utiliza os recursos disponibilizados pelo agente regional para comprar bens e serviços (domésticos e importados). Um sistema tributário impõe os impostos em cada transação e repassa a receita para o agente via transferências lump sum. Os exportadores compram mercadorias a preços de mercado, pagam impostos de exportação para o sistema tributário e vendem bens para um “comerciante global”. Os comerciantes globais compram os bens dos exportadores das regiões exportadoras e vendem para os importadores das regiões importadoras. Nesta transação, os

¹ Aos leitores interessados em replicar este estudo, o Anexo A fornece uma descrição detalhada dos conjuntos, variáveis, coeficientes e equações específicas do GTAP-E. No Anexo B, encontram-se os respectivos closures utilizados para as simulações dos cenários propostos.

² Não se tem a intenção de descrever detalhadamente o modelo GTAP, cuja teoria já está muito bem documentada em Hertel (1997).

mesmos utilizam um serviço de transporte fornecido pelo “setor de transportes global”. Os importadores compram produtos produzidos ao redor do mundo dos comerciantes globais, pagam tarifas de importação para o governo local e vendem as mercadorias importadas aos vários agentes domésticos a preços de mercado.

O GTAP-E (BURNIAUX e TRUONG, 2002) foi projetado para analisar assuntos relacionados ao uso de energia e potenciais impactos de redução de CO₂ sobre a atividade econômica. Ele difere do modelo GTAP padrão, principalmente pelo aspecto particular da substituição entre combustíveis e entre combustível e demais fatores de produção. Como o GTAP-E é um modelo que pertence à família de modelos GTAP, ele possui a mesma estrutura teórica padrão (competição perfeita e retornos constantes de escala na produção), porém, com uma estrutura de produção que inclui uma descrição mais detalhada das possibilidades de substituição de uso entre as diferentes fontes de energia. A forma escolhida para incorporar a substituição de energia dentro do GTAP segue a aproximação de modelos top down.³ O GTAP-E utiliza uma base de dados que, além dos fluxos e parâmetros usualmente utilizados pelo GTAP padrão, incluem elasticidades de substituição para o uso das commodities energia e das quantidades de emissões de CO₂ geradas pela queima dos combustíveis fósseis como carvão, petróleo cru e gás natural, como também os produtos derivados do petróleo e da geração de eletricidade.

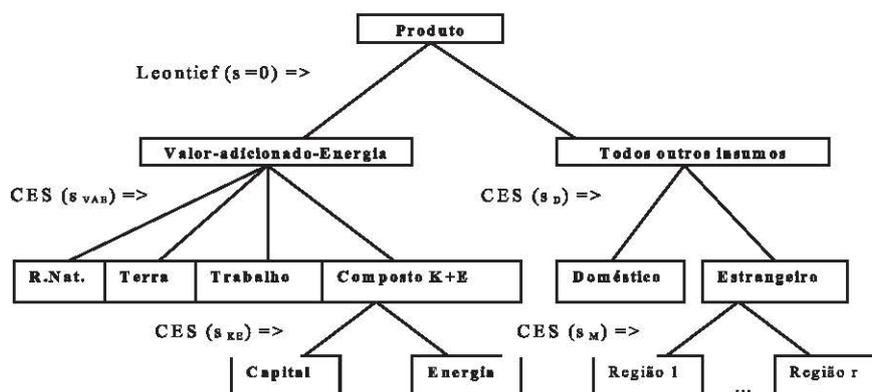
A estrutura de produção do GTAP-E é adaptada de várias proposições feitas por modelos de EGC que incluem a característica de substituição de energia.⁴ No nível superior da Figura 1, governada por uma função Leontief, existe uma proporção fixa combinando o valor adicionado e bens intermediários. Com relação à estrutura de produção padrão do modelo original GTAP, a primeira modificação se refere à retirada do insumo “energia” do “ninho” dos insumos intermediários e a sua posterior inclusão no ninho do valor adicionado.⁵

³ Modelos top down (econômicos) como o GREEN (BURNIAUX et al., 1992) ou BMR (BABIKER, MASKUS e RUTHERFORD, 1997), começam com uma detalhada descrição da estrutura da economia macro. Desta, são derivadas as demandas dos insumos energia em termos da demanda pelos vários setores produtivos em funções de custo ou de produção altamente agregadas. Esses modelos, segundo Burniaux e Truong (2002), apesar de não incorporarem o tratamento detalhado da tecnologia envolvida para produzir energia (como os modelos bottom-up) trazem a vantagem da especificação comportamental das funções de produção.

⁴ Modelo CETM de Rutherford et al. (1997), Megabare de Abare (1996), modelo GREEN da OCDE (1999) e BMR (1997).

⁵ O insumo “energia”, quando não utilizado diretamente como fonte de energia, mas sim transformado para tornar-se parte de outro produto, permanece no ninho dos insumos intermediários.

Assim, como pode ser observado na Figura 1, a nova formação da estrutura de produção tem agora um ninho chamado de “valor-adicionado-Energia”, em que duas funções CES compõem este nível. Uma importante modificação deste modelo em relação ao original, que deve ser destacada, é a possibilidade de a elasticidade de substituição neste ninho (σ_{VAR}) poder assumir valores diferentes para as várias regiões do modelo. Para o Brasil, por exemplo, o modelo foi calibrado com valores iguais a 4 para o carvão e 1,26 para derivados do petróleo e eletricidade.⁶

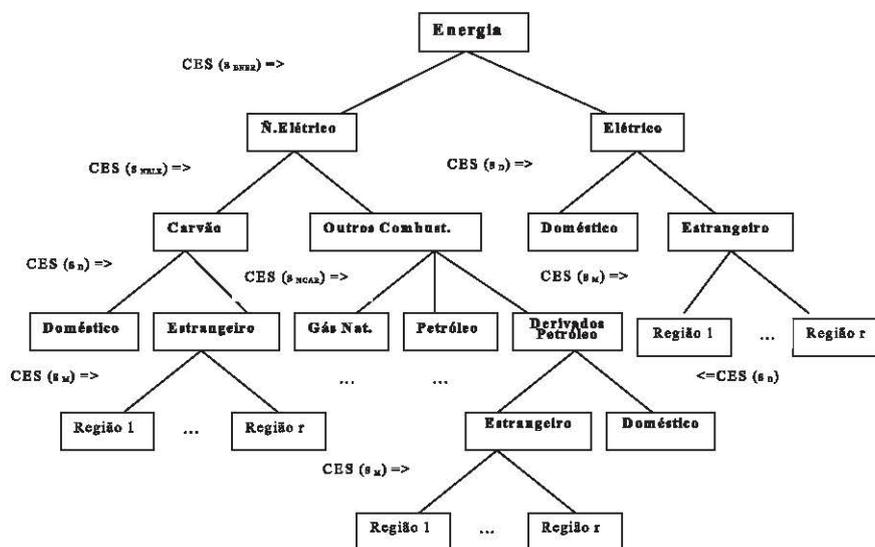


Fonte: Burniaux e Truong (2002)

Figura 1 – Nova estrutura de produção do GTAP (GTAP-E)

Na Figura 2, na subdivisão seguinte da estrutura de produção, o composto de energia da estrutura de produção é separado em grupos elétrico e não elétrico. Neste último, também governado por uma função CES (σ_{NELE}), é permitido algum grau de substituição entre estes grupos. O setor não elétrico, por sua vez, subdivide-se em carvão, cuja fonte pode ser doméstica ou externa (σ_D) e em outros combustíveis (σ_{NCAR}). Finalmente, no nível mais baixo, têm-se mais três grupos que se originam de outros combustíveis, estes são: gás natural, petróleo e combustíveis derivados de petróleo e carvão, em que cada um desses combustíveis é escolhido de acordo com a suposição das elasticidades de Armington.

⁶ Calibrar um modelo EGC significa atribuir valores numéricos aos parâmetros das equações para a adequação da base de dados. Ou, colocado de outra forma, os parâmetros da uma economia virtual (no computador) devem ser calibrados de tal forma que o equilíbrio reproduza as transações observadas nos dados (KEHOE e KEHOE, 1994).

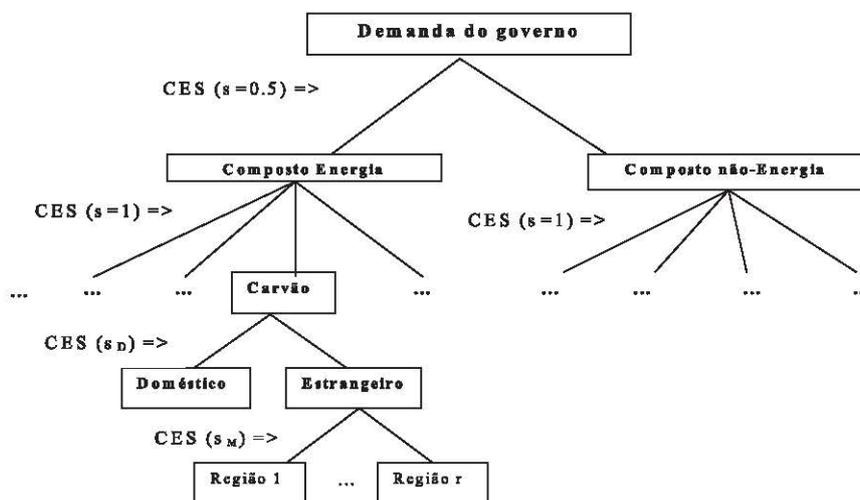


Fonte: Elaboração do autor adaptada de Burniaux e Truong (2002)

Figura 2 – Estrutura de substituição entre fontes de energia

Pelo lado do consumo, o GTAP-E tem basicamente a mesma estrutura do GTAP padrão, ou seja, consumo de governo (consumo por domésticos de bens fornecidos publicamente) comandado por uma função Cobb Douglas para todas as commodities e o consumo privado por uma forma funcional CDE (do termo em inglês constant-difference of elasticities). Entretanto, o GTAP-E possui algumas peculiaridades que devem ser ressaltadas. Primeiro, o consumo do governo é agora dividido em dois “compostos”, um com commodities de energia e outro não. Segundo, é que a elasticidade de substituição entre as commodities no interior do composto de energia (inner) precisa ser diferente da elasticidade externa ao composto (outer), e essa última diferente de um, tal como ilustrado na Figura 3.⁷ Essa é uma condição para que a estrutura do GTAP-E não fique equivalente a do modelo padrão e, dessa forma, permita substituição entre e dentro dos subgrupos energia e não energia. Os critérios adotados para calibrar essas funções foram baseados nos trabalhos de Rutherford et al. (1997) e Bohringer e Pahlke (1997).

⁷ Ou seja, $\sigma_{inner} \neq \sigma_{outer} \neq 1$.

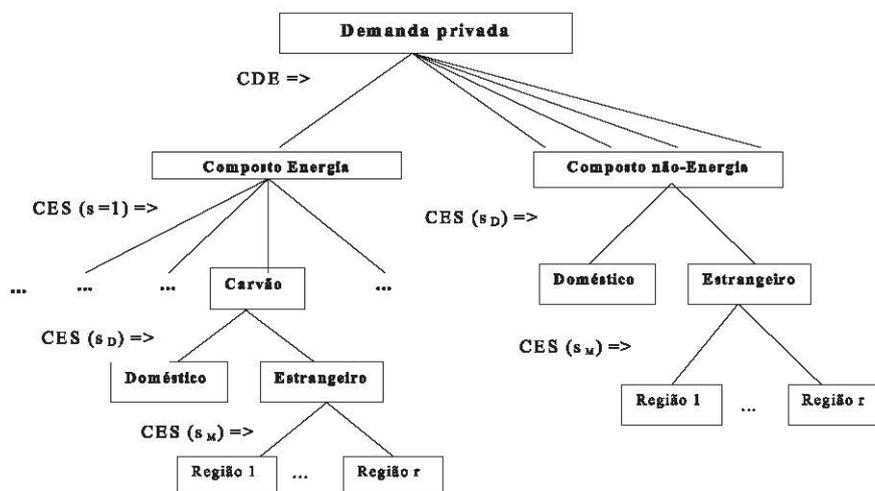


Fonte: Burniaux e Truong (2002).

Figura 3 – Estrutura de consumo do governo

Para o consumo de bens privados é utilizado o expediente de desagregar o grupo de commodities de energia (carvão, petróleo cru, eletricidade, gás natural, e derivados de petróleo e carvão) da estrutura padrão existente de forma funcional CDE, e posteriormente agregá-lo em um novo composto (Composto Energia na Figura 4). Isto somente é possível porque os parâmetros de substituição e renda do modelo para o grupo de commodities de energia são basicamente os mesmos para esses produtos.⁸ Esta é uma condição necessária imposta pela teoria de estruturas CDE para que essas commodities possam ser agregadas com os mesmos parâmetros que os componentes individuais. Posteriormente, para esse composto é especificada uma subestrutura CES para permitir uma flexível substituição entre os seus elementos.

⁸ Com exceção para os produtos derivados de petróleo e carvão.



Fonte: Burniaux e Truong (2002).

Figura 4 – Estrutura do consumo privado

2.2 Emissões e comércio de CO₂

As emissões são calculadas com base na variação do uso dos combustíveis fósseis em unidades físicas (toe – toneladas de petróleo equivalente) e as associadas emissões de CO₂ (toneladas de carbono) nos setores considerados na agregação do modelo. Entre dois estados de equilíbrios, os dados relativos à emissão são atualizados tomando-se a variação percentual do crescimento de CO₂ que, por sua vez, é originada no crescimento (contração) da produção dos setores poluidores.⁹ A variação total das emissões por combustível é dada pela demanda interna da commodity energia dentro da região.¹⁰

⁹ Os coeficientes de emissão são dados pela razão entre nível total de emissão de CO₂ em determinado setor e o nível total do combustível utilizado pelo mesmo.

¹⁰ Esse cálculo precisa contabilizar a produção interna acrescida da diferença entre importações e exportações dessas mercadorias. Nessa contabilidade não é levada em consideração o petróleo cru, cuja emissão é calculada separadamente, deduzindo-se o uso desta commodity no setor de derivados de petróleo, uma vez que este produto não é utilizado diretamente para produzir energia, mas sim como um insumo.

Os agentes econômicos que utilizam as commodities de energia (setores produtivos, consumidores e o próprio governo) pagam um imposto sobre o uso das mesmas para uma espécie de “agência de carbono” no interior de cada região. Essa agência, posteriormente, repassa esse valor da arrecadação para o agente regional representativo, juntamente com a receita oriunda das vendas (ou compra) de permissão de emissões de carbono para (das) outras regiões do modelo. O GTAP-E também admite às regiões do modelo comercializar entre si as quotas de redução de emissão de CO₂. A estrutura teórica introduzida no GTAP para permitir o “comércio de emissões” busca atingir o objetivo de modelar os mecanismos de flexibilidade admitidos pelo Protocolo de Quioto. Grosso modo, se um país é parte de um esquema de comércio de permissão de emissões, o custo marginal de abatimento de carbono nominal é igualado à variação do equilíbrio do custo marginal de abatimento para o grupo de países/regiões pertencentes ao mercado de emissões. Esse mecanismo funciona através de um imposto nominal sobre emissão de carbono que depois é convertido para termos reais através do deflator do PIB.

3 Cenários

Face o exposto anteriormente, o instrumento utilizado no presente estudo para simular os cenários é um modelo de Equilíbrio Geral Computável chamado GTAP-E (BURNIAUX e TRUONG, 2002). Para se executar as políticas de redução de CO₂ e implementar o mecanismo de flexibilidade comércio de emissões do Protocolo de Quioto é preciso que seja criado um ambiente econômico no modelo (closure) propício para as simulações que irão caracterizar os cenários propostos.

3.1 Fechamento (*Closure*)

O fechamento ou closure de um cenário pode ser considerado como uma maneira especial de escolha das variáveis endógenas e exógenas do modelo. Para que o modelo chegue a uma solução, é necessário que o número de equações seja igual ao número de variáveis endógenas. Como o número de variáveis geralmente é superior ao número de equações, devem ser selecionadas algumas variáveis para serem exógenas ao modelo (fixas). O closure macroeconômico utilizado neste modelo é chamado de neoclássico porque,

ao contrário dos fechamentos não neoclássicos, que consideram o investimento fixo, esse permite que o investimento se ajuste a variações na poupança. Os fatores de produção, que no modelo têm mobilidade entre os setores, são capital, mão-de-obra qualificada e não qualificada. Todavia, o grau de mobilidade dos fatores de produção é governado por uma elasticidade de transformação constante. Os demais fatores como terra e recursos naturais são considerados fatores de produção imóveis.

As restrições quantitativas das emissões de CO₂ são inseridas no modelo tornando-se endógena a variável de taxação real sobre o carbono (imposto nominal deflacionado pelo deflator do PNB) e, é considerada exógena, a taxa de crescimento das emissões de CO₂. Esse procedimento permite que seja dado um choque na variável exógena mantendo-se a restrição de emissões que se pretende impor. Esse arranjo é necessário, pois permite que sejam simuladas as restrições de emissões que foram acordadas pelo Protocolo de Quioto.

Para estabelecer o comércio de emissões (um dos mecanismos de flexibilidade) foi necessário, primeiramente, identificar o grupo de países/regiões aos quais as restrições serão impostas. Estabelecido esse grupo, a próxima etapa prevê que a restrição global de emissões seja igual à soma das restrições individuais dos mesmos. Ou seja, deve-se atentar para que a soma das quotas individuais dos países/regiões, exógenas para este caso, seja consistente com a restrição total de emissões, para que se evite desequilíbrio de fluxos de comércio. Nesse sentido, a variável que representa o crescimento das emissões totais, deve tornar-se exógena e assumir o valor da restrição total, ao mesmo tempo em que a variável que representa o custo marginal do abatimento, correspondente ao grupo como um todo, deverá ser endógena ao modelo.

É preciso ainda providenciar para que a compra de direitos para emissões seja compensada por um correspondente aumento nas exportações de bens e serviços (ou vice-versa). Essa é uma condição necessária para satisfazer a exigência do modelo original GTAP de que os fluxos líquidos de capital com o resto do mundo sejam constantes. Em outras palavras, o fluxo de capital em cada país/região permanece constante e igual ao seu valor de benchmark, de maneira que quaisquer fluxos associados ao comércio de emissões sejam compensados por um correspondente fluxo nas transações

correntes. Isto é feito estabelecendo-se que as variações no saldo das transações correntes, incluindo comércio de permissão de emissões sejam exógenas e iguais à zero para todas as regiões (exceto uma).

3.2 Agregação

A agregação regional utilizada neste trabalho foi desenhada para possibilitar uma avaliação integrada de um possível acordo comercial da ALCA e as reduções de emissões de CO₂ tratadas pelo Protocolo de Quioto. Foram agrupados 78 países da versão 5.4 da base de dados do GTAP em 10 novas regiões (Quadro 1). As mesmas foram agrupadas de modo a privilegiar a análise dos resultados para o Brasil, assim como possibilitar a construção de cenários para implementação do Protocolo de Quioto quanto aos seus principais atores, que são os países integrantes do chamado Anexo I (EUA, Canadá, EU e OANEX1), e outros países que são considerados grandes emissores de CO₂ através da queima de combustíveis fósseis, como China e Índia, por exemplo. Algumas adequações foram implementadas por necessidade na base de dados original do GTAP (dados oferecidos pela versão 5.4). O Software GTAPAgg utilizado para a agregação dessa base de dados, não gerou todos os coeficientes necessários para a implementação da mesma no GTAP-E, esse trabalho, de cálculo dos coeficientes, teve de ser feito separadamente. Para que esses dados se tornassem compatíveis com os dados requeridos pela teoria do modelo GTAP-E, foi necessário que se criassem 24 novos coeficientes a partir dos dados originais. Com exceção dos dados de emissão de CO₂ que foram obtidos no trabalho de Lee (2003), as outras adequações foram modificações nas dimensões e nomenclatura dos conjuntos do modelo GTAP-E.

O critério para agregação setorial restringiu-se principalmente às disponibilidades dos dados de emissões de CO₂ compatíveis com o modelo GTAP-E. Assim sendo, foram agrupadas 57 indústrias em oito novos setores, cinco deles em commodities de energia (carvão, petróleo cru, gás natural, derivados de petróleo e carvão e eletricidade) e três outros grandes setores (agricultura, indústrias intensivas em energia e outras indústrias e serviços). Essa agregação torna possível concentrar a análise principalmente nos setores de energia.

Quadro 1 – Agregação utilizada

Agregação regional	Agregação setorial
1. Brasil	1. Agropecuária
2. Estados Unidos (EUA)	2. Carvão
3. México	Mineração e aglomeração de carvão duro, carvão fóssil e turfa.
4. Canadá	3. Petróleo cru
5. Resto do Mercosul (RMERC)*	Extração de petróleo bruto.
6. Resto da ALCA (RALCA)	4. Gás natural
7. União Européia (UE)	Extração de gás natural, manufatura e distribuição.
8. Outros Países do Anexo 1 (OANEX1)	5. Derivados de Petróleo e carvão
9. Outros grandes emissores (OGEMISS)	Produtos derivados do petróleo, carvão e processamento de combustível nuclear.
10. Resto do mundo (ROW)	6. Eletricidade
	Produção, transmissão e distribuição.
	7. Indústrias intensivas em energia
	8. Outras indústrias e serviços

Fonte: Base de dados do GTAP versão 5.4.

* A base de dados do GTAP não contempla o Paraguai.

3.3 Descrição

Nos cenários propostos a seguir estão representadas cinco formas alternativas de implementação do Protocolo de Quioto com ou sem uso do mecanismo de flexibilidade ou inclusão do “comércio de emissões” entre as regiões do modelo. Em três cenários, a questão do Protocolo de Quioto foi simulada com duas simplificações que, embora não corresponda totalmente à realidade dos fatos, pode trazer interessantes projeções de possibilidades para o Brasil. A primeira simplificação assume que os Estados Unidos concordariam em reduzir suas emissões.¹¹ A segunda supõe que existiria um comércio mundial de emissões no qual seria permitida a participação de todas as regiões do modelo. Essa hipótese serviria como uma proxy para os países em desenvolvimento dos possíveis impactos econômicos de suas participações no Protocolo de Quioto através do MDL.¹²

¹¹ Os Estados Unidos, responsável por cerca de 40% das emissões entre os países do Anexo I e aproximadamente um quarto do consumo mundial de energia relacionada às emissões de carbono em 1990, havia concordado em reduzir em 7% dos níveis de 1990 até 2008/2012 (Protocolo de Quioto, 1997).

¹² No texto original do Protocolo, o comércio de emissões é restrito somente aos países que compõem o chamado Anexo I. A participação de países não integrantes do Anexo I é feita através dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpos (MDL).

As restrições de emissões utilizadas aqui foram estimativas das restrições que teriam que ser impostas em 1997 (ano da base de dados da versão 5.4 do GTAP) para que os integrantes do Anexo I do Protocolo de Quioto atingissem a meta proposta pelo mesmo, aliada ao fato que a emissão nessas regiões aumentou entre 1990 e 1995 e que, durante este período, não houve abatimento de emissões.¹³ Tal argumento baseia-se no trabalho da OCDE (1999), o qual relata que existiu um gap de emissões entre a data de comprometimento do Protocolo e a data de confirmação do mesmo, ou seja, as emissões durante esse período de tempo aumentaram em muitos países. Esse aumento entre 1990 e 1995, segundo OCDE (1999), excedeu 10% em países como Japão, Estados Unidos, Canadá e outros países da União Européia, como Dinamarca, Áustria, Bélgica e Holanda. Baseado nestes fatos, as estimativas dos choques de redução de CO₂ selecionados para este cenário foram de -20% para as emissões nos EUA, OANEX1, Canadá, e -15% na UE.¹⁴

Os choques de reduções de emissões agem como impostos nos setores produtivos deste modelo, aumentando, dessa forma, os custos de produção dos produtos cuja elaboração demande mais energia. Com o objetivo de avaliar isoladamente as possíveis consequências em termos de bem-estar econômico e emissões de CO₂ resultantes da implementação do Protocolo de Quioto, a seguir apresentam-se alguns possíveis desdobramentos do mesmo. Foram considerados cinco cenários que serão descritos em maiores detalhes a seguir:¹⁵

PQ1 – Protocolo de Quioto e comércio mundial de emissões: este cenário trata-se da implementação do Protocolo de Quioto e comércio de permissões de emissões de CO₂ entre todas as regiões do modelo.

PQ2 – Protocolo de Quioto (sem a participação dos EUA) e Comércio de Emissões entre as regiões do Anexo1: este cenário simulou a efetivação do Protocolo de Quioto com duas alterações em relação ao caso anterior: os EUA não participam do acordo de redução de

¹³ As metas de redução de emissões para os países do Anexo I para que os níveis de emissão fiquem 5% abaixo dos de 1990 variaram de 6% para o Japão, Canadá, Hungria e Polônia até 8% de redução para alguns países da União Européia e Europa Oriental. Alguns países como Federação Russa, Nova Zelândia e Ucrânia poderiam manter seus níveis de emissões como estavam e outros poderiam até mesmo aumentar, como Austrália (8%), Islândia (10%) e Noruega (1%).

¹⁴ Os valores correspondentes em milhões de toneladas de carbono foram de, respectivamente, 314, 215, 28, e 139.

¹⁵ Os choques nos mesmos estão sumarizados no Quadro 2.

emissões, e o comércio de emissões ficou restrito aos países do Anexo I (exceto os EUA).¹⁶ Esta situação é a que mais se aproximou da realidade que se vivia no momento em que este trabalho foi desenvolvido. A primeira alteração vem ao encontro do que aconteceu em 2001. Sob os argumentos de incerteza para os potenciais danos da mudança climática e que os países pobres deveriam fazer parte do tratado e serem forçados também a reduzir emissões ao mesmo tempo em que os países ricos, a administração Bush voltou atrás e desfez o compromisso assumido na ocasião da elaboração do referido documento. A outra modificação refere-se ao fato que o comércio de emissões, como consta no texto original do Protocolo de Quioto, restringe-se somente aos países participantes do Anexo I.

PQ3 – Protocolo de Quioto sem Comércio de Emissões: neste cenário é feita uma simulação para a efetivação do Protocolo de Quioto sem a possibilidade da utilização do mecanismo de flexibilidade entre quaisquer regiões do modelo. Essa configuração impõe aos signatários do Protocolo a obrigatoriedade de atingirem individualmente suas metas de redução de emissões. Teoricamente, este cenário deveria impor aos membros do Anexo I um custo de abatimento superior ao que seria em um ambiente com mecanismos de flexibilidade.

PQ4 – Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre todas as regiões do modelo e 15% de redução para OGEMISS: o cenário a seguir é similar ao PQ1 (comércio de emissões entre todas as regiões) com a diferença de que esse simula uma redução adicional de emissão de 15% para OGEMISS, pois, nesta região, têm-se grandes emissores de CO₂, tais como a China e a Índia. A simulação deste cenário foi motivada por um dos argumentos utilizados pelos americanos para não participarem da redução de emissões prevista pelo Protocolo de Quioto, ou seja, que os países em desenvolvimento não compartilhariam do sacrifício econômico gerado pelo acordo.

PQ5 – Protocolo de Quioto e Comércio de Emissões entre as regiões do Anexo I: neste cenário, tem-se a simulação da situação de implementação do Protocolo de Quioto nos moldes acertados pelo acordo de 1997 (com a participação dos EUA). Nesse documento foi previsto que, além das reduções de emissões, os integrantes do Anexo I poderiam comercializar cotas de emissões entre si.¹⁷

¹⁶ Esta suposição é mais realista do que a da simulação anterior, uma vez que os EUA, sob a administração Bush, recusaram-se a assinar o Protocolo de Quioto em 2002, sob o argumento que isso prejudicaria o desempenho econômico do país.

¹⁷ Protocolo de Quioto (1997).

Quadro 2 – Sumário dos choques nos cenários para implantação do Protocolo de Quioto

Cenário	PQ1		PQ2		PQ3		PQ4		PQ5	
	CO2	PART.								
Brasil	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
EUA	-20%	Sim	-	Não	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
México	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
Canadá	-20%	Sim	-20%	Sim	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
RMERC	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
RALCA	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não
UE	-15%	Sim	-15%	Sim	-15%	Não	-15%	Sim	-15%	Sim
OANEX1	-20%	Sim	-20%	Sim	-20%	Não	-20%	Sim	-20%	Sim
OGEMISS	-	Sim	-	Não	-	Não	-15%	Sim	-	Não
ROW	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Sim	-	Não

Nota: PART. significa que a região tem participação no comércio de emissões de CO₂.

4 Resultados

4.1 Impactos macroeconômicos

A Tabela 1 mostra os resultados de alguns indicadores macroeconômicos para os cinco cenários selecionados. A atividade econômica, que aqui é representada pela variável qgdp (índice de quantidade do PIB), apresentou seu melhor resultado na simulação do cenário PQ3 (0,02%).¹⁸ Nesse cenário, obteve-se também o maior crescimento das importações (qiwreg), o que deve ter sido motivado pelo crescimento da economia doméstica. Cabe lembrar que esse cenário não permite que os custos do abatimento de emissão de CO₂ sejam compartilhados com as outras regiões, ou seja, somente os países

¹⁸ Cabe ressaltar que estes valores abaixo de 1% são resultados comuns em simulações com modelos baseados em uma estrutura de mercado em que prevalece a competição perfeita (primeira geração). Azevedo (2003) afirma que nestes modelos somente os ganhos estáticos associados a uma melhor alocação dos recursos e melhorias dos termos de troca são levados em consideração. Ao contrário, modelos com competição imperfeita (segunda geração) e dinâmicos (terceira geração) tendem a apresentar magnitudes maiores como resultado de políticas comerciais.

do Anexo I abateriam emissões nessa versão do ajuste. Assim, uma vez que esse ônus não é arcado pelos países em desenvolvimento e, entre eles está o Brasil, esse resultado, é subestimado, pois, possivelmente deu-se em função da incidência do ônus do abatimento das emissões que recai sobre os países do anexo I.

Tabela 1 – Impactos macroeconômicos (variação %)

Cenários	qgdp	pgdp	qiwreg	qxwreg
PQ1	-0,02	0,64	-0,22	-0,57
PQ2	0,01	0,23	0,03	0,12
PQ3	0,02	0,59	0,24	0,40
PQ4	-0,04	1,05	-0,30	-1,01
PQ5	0,01	0,29	0,14	0,21

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Nota: qgdp (índice de quantidade do PIB); pgdp (índice de preço); qiwreg (volume de mercadorias importadas); qxwreg (volume de mercadorias exportadas).

O cenário PQ4, que teve a maior incidência de choques reduzindo emissões e, dessa forma, impôs maior ônus de internalização, registrou a maior queda da atividade econômica (-0,04%). Portanto, o Brasil, quando participar do mercado de comércio de emissões, segundo o modelo utilizado nessa simulação, sofrerá mais intensamente os efeitos do abatimento de emissões na atividade econômica, como pode ser observado através dos índices de crescimento do PIB, inflação e comércio externo.

4.2 Bem-estar econômico e sua decomposição

O potencial bem-estar econômico gerado pelas simulações que aqui é representado pela variação equivalente (EV) foi decomposto em seus componentes e é apresentado na Tabela 2.¹⁹ As variações equivalentes da renda regional foram calculadas dentro do modelo determinando-se as rendas que seriam requeridas para se alcançar um determinado nível de utilidade “u” em um sistema de demanda “sombra” no qual os preços são fixos.

Como o GTAP padrão é um modelo de equilíbrio geral formulado originalmente para avaliar os impactos de acordos comerciais, os

¹⁹ A variação equivalente da renda do consumidor regional (EV) reflete a diferença entre a despesa requerida para obter o novo nível de utilidade aos preços iniciais (Y_{EV}) e o nível de utilidade disponível no equilíbrio inicial (Y), ou seja, $EV = Y_{EV} - Y$.

efeitos alocativos (EA) mostram que uma parcela da EV proveniente dos ganhos (ou perdas) de eficiência é ocasionada pela remoção (inclusão) as distorções causada pela incidência de tarifas sobre o comércio. Dessa forma, produtos importados mais baratos, por exemplo, provocam ganhos tanto através do consumo ampliado como na forma como os recursos produtivos domésticos são aplicados e/ou alocados. O imposto sobre carbono (internalizado através do choque de redução de CO₂) tem efeito similar e contrário ao efeito que teria a eliminação de uma tarifa de importação sobre a eficiência alocativa. Enquanto a remoção de uma tarifa de importação sobre determinado insumo torna-o mais barato para utilização por determinada indústria, o imposto sobre emissões de CO₂ torna-o mais caro e, portanto, desloca a demanda pelo mesmo.

O componente relativo aos fluxos monetários provenientes da compra e venda de créditos de carbono é representado, na Tabela 2, pelo termo co2trd. Esse fluxo só aparece quando a região participa do mercado de comércio de emissões e será positivo se a mesma vender créditos. Os termos de troca (TT) são afetados pela variação dos preços das exportações e importações.²⁰ O impacto do componente investimento-poupança (I-S) sobre o bem-estar, por sua vez, é uma função dos preços da poupança e investimento e da situação como determinada região aparece no saldo de poupança líquida.

Tabela 2 – Decomposição do bem-estar no Brasil por cenários (US\$ milhões)

Cenários	co2trd	EA	TT	IS	Total (EV)
PQ1	86,84	-155,89	146,33	45,44	122,71
PQ2	0,00	41,34	1,40	1,31	44,04
PQ3	0,00	123,46	63,14	20,99	207,58
PQ4	230,30	-284,37	243,26	75,99	265,17
PQ5	0,00	67,69	38,75	8,67	115,11

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Todos os cenários, para o caso brasileiro, geraram uma perspectiva de melhora no bem-estar econômico. Curiosamente, o cenário

²⁰ Neste modelo, a variação nos termos de troca é dada pela diferença entre as variações percentuais dos índices de preço recebido e pago pelos tradables produzidos e usados, respectivamente, em determinada região.

PQ4, pior desempenho pelo índice de quantidade do PIB mostrado na Tabela 1, foi o que mostrou o melhor potencial em termos de bem-estar (US\$ 265 milhões). Tal resultado pode ser explicado, basicamente, pelo fluxo positivo de renda gerado pela venda de permissão de emissões para os outros países (US\$ 230 milhões), uma vez que, os outros componentes praticamente se anularam. Esse resultado pode ser entendido como uma evidência do potencial brasileiro para emissor de certificados de reduções comerciáveis (CERs) e dos benefícios que podem ser obtidos dessa situação. Assim, a participação brasileira em sistema de comércio de emissões produziria perda de eficiência alocativa (causado pela distorção do imposto sobre emissão de CO₂) e ganhos nos termos de troca.

Comparando-se os efeitos na eficiência alocativa no Brasil por setor nos cinco cenários, podem ser observados alguns padrões qualitativos (Tabela 3). Os setores de gás natural e de eletricidade apresentaram perdas de eficiência, independentemente do cenário simulado. Desses setores, o de eletricidade foi o que obteve o pior desempenho, chegando a registrar uma perda de US\$ 14 milhões no cenário PQ4. Nos cenários PQ1 e PQ4, o saldo total negativo pode ser quase totalmente creditado à perda de eficiência alocativa no setor de derivados de petróleo e carvão (US\$ 152 milhões e US\$ 249 milhões, respectivamente).

Tabela 3 – Eficiência alocativa por setor e cenários no Brasil (US\$ milhões)

Setores	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PQ5
Agropecuário	0,58	0,08	-1,23	1,40	-0,92
Carvão	-5,87	0,47	1,41	-8,74	0,75
Petróleo cru	-2,15	5,35	18,78	-3,14	9,59
Gás natural	-1,10	-0,02	-0,05	-2,21	-0,03
Derivados P&C	-152,06	24,59	98,18	-248,98	52,57
Eletricidade	-10,12	-6,15	-12,42	-14,36	-6,45
Ind.Int.Energia	-2,12	2,54	-2,19	-3,48	-1,97
Out.Ind.e Serv.	57,96	14,48	20,99	102,04	14,16
Total	-114,88	41,34	123,46	-177,48	67,69

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Ainda sobre os cenários PQ1 e PQ4, observa-se que os ganhos provenientes da melhor alocação dos recursos obtidos pelo setor de outras indústrias e serviços não foi suficiente para compensar a perda nos setores de energia. A explicação para esse fenômeno reside na incidência do imposto de US\$ 22 e US\$ 38 por tonelada de carbono, respectivamente, para PQ1 e PQ4.²¹

4.3 Impactos ambientais

As emissões de CO₂ são calculadas com base na variação do uso dos combustíveis fósseis em unidades físicas (toe) e as associadas emissões de CO₂ (toneladas de carbono) nos setores considerados na agregação do modelo. Entre dois estados de equilíbrios, os dados relativos à emissão são atualizados tomando-se a variação percentual do crescimento de CO₂ que, por sua vez, é originada no crescimento (contração) da produção dos setores da economia e a consequente utilização de energia.²² A variação total das emissões por combustível é dada pela variação da demanda interna da commodity energia dentro da região.²³

As situações que geraram redução na taxa de crescimento de emissões no Brasil foram obtidas através das simulações dos cenários PQ1 e PQ4. Como mencionado anteriormente, esses cenários foram desenhados para permitir a inserção de todos os países/regiões do modelo em um sistema de comércio de emissões no qual é permitido que os países do Anexo I compartilhem suas obrigações de abatimentos com as outras regiões (não-Anexo I). O impacto deste mecanismo fez com o preço das commodities de energia aumentasse (exceto petróleo cru) no Brasil causando a redução da demanda das mesmas. Isso pode ser observado na Tabela 4 pelo aumento de preço, por exemplo, de 29,6% para o carvão na simulação de PQ1, e de 49,5% na de PQ4. A maior redução da taxa de crescimento de CO₂ ocorrida nessa última deveu-se, principalmente, ao aumento da cota mundial de abatimento pela inserção de OGEMISS no compromisso de redução de emissão (15% em seus níveis de 1997).

²¹ Esses valores foram calculados dentro modelo e refletem os impostos equivalentes às quotas de emissão impostas pelo Protocolo de Quioto.

²² Os coeficientes de emissão são dados pela razão entre nível total de emissão de CO₂ em determinado setor, e o nível total do combustível utilizado pelo mesmo.

²³ Esse cálculo precisa contabilizar a produção interna acrescida da diferença entre importações e exportações dessas mercadorias. Nessa contabilidade não é levada em consideração o petróleo cru, cuja emissão é calculada separadamente deduzindo-se o uso desta commodity no setor de derivados de petróleo, uma vez que este produto não é utilizado diretamente para produzir energia, mas sim como um insumo.

Tabela 4 – Preço, quantidade demandada, e emissões por commodity no Brasil (variação %)

Produtos		Total	Carvão	Petróleo cru	Gás natural	Derivados P&C	Eletricidade
Cenários							
PQ1	Apen		29,57	-3,00	4,52	3,87	1,48
	Qdem		-14,77	-2,67	-5,03	-2,66	0,07
	gco2	-4,93	-14,88	-9,18	-5,05	-2,78	0,06
PQ2	Apen		-0,78	-0,75	0,11	-0,59	0,30
	Qdem		1,08	0,51	0,06	0,49	-0,16
	gco2	0,59	0,94	0,84	0,06	0,54	-0,25
PQ3	Apen		-3,01	-3,07	0,05	-2,39	0,41
	Qdem		3,18	1,92	0,05	1,85	-0,38
	gco2	2,04	2,65	3,17	0,07	2,03	-0,53
PQ4	Apen		49,52	-4,89	9,95	6,55	2,37
	Qdem		-22,11	-4,39	-9,91	-4,38	0,18
	gco2	-7,81	-22,26	-14,43	-9,95	-4,58	0,16
PQ5	Apen		-1,67	-1,65	0,01	-1,29	0,19
	Qdem		1,67	1,02	0,02	0,98	-0,20
	gco2	1,07	1,38	1,65	0,02	1,07	-0,28

Fonte: Valores resultantes de todas as simulações.

Nota: apen (var. % do preço médio da energia); qdem (var. % na quantidade demandada do volume das commodities energia); gco2 (var. % das emissões por commodity energia).

Por outro lado, quando são registrados aumentos de emissão, não existe a participação brasileira no mercado de comércio de emissões. Verifica-se também que o pico de crescimento de emissões acontece exatamente na simulação que supõe inexistência do mecanismo de flexibilidade. Dos cenários que causaram aumento do crescimento das emissões, o que registrou a maior taxa foi o que não admitiu nenhuma forma de comércio de emissões (PQ3 na Tabela 4). Nesse cenário obteve-se a maior redução de preço para as commodities energia (- 3% para carvão e petróleo cru e -2,4% para derivados de petróleo e carvão). Este resultado pode sugerir que, em um comprometimento de redução de emissão de gases do efeito estufa, no qual os países buscam soluções isoladas, o comportamento free rider pode ser mais pronunciado para aqueles países não comprometidos. Ou seja, os países que não estão obrigados a reduzir sua emissões podem

se aproveitar da queda do preço dos commodities de energia no mercado internacional, ocasionado pela restrição imposta aos países do Anexo I, para aumentarem sua produção que é intensiva nessas commodities.²⁴

4.4 Análise de sensibilidade

Em simulações econômicas implementadas em modelos de EGC, os resultados são fortemente influenciados pelas suposições que se fazem para alguns parâmetros e choques em variáveis exógenas. Assim, fazer variar esses elementos para se verificar o quanto eles influenciam os resultados endógenos é uma tarefa indispensável para dar credibilidade às conclusões acerca dos resultados encontrados. Portanto, a análise de sensibilidade trata-se de um importante instrumento para verificar a robustez dos resultados encontrados pelos modelos EGC.

Nesta seção, foi selecionado o cenário PQ3 para que se possa proceder a esse exercício. A Tabela 6 mostra os resultados deste exercício para uma variação de 50% acima e abaixo do valor-base (o valor do parâmetro que calibrou o modelo) nos valores dos parâmetros e choques especificados.²⁵ Os intervalos nos colchetes foram calculados com base na desigualdade de Chebyshev com três desvios-padrão da média, fornecendo um intervalo de confiança de 88,89%. Nenhuma das situações analisadas traz mudança de sinal para os extremos dos intervalos obtidos, o que permite confirmar a robustez qualitativa do modelo utilizado. Entretanto, podem-se fazer algumas observações quanto à amplitude do intervalo, uma vez que sua magnitude indica que o quão sensível são algumas variáveis endógenas às suposições exógenas.

Tabela 5 – Análise de sensibilidade para o Brasil – Cenário PQ3 (variação %)

Variáveis	Substituição de Energia	Choque CO ₂
PIB	[0,017 ; 0,015]	[0,023 ; 0,009]
Exportação	[0,474 ; 0,319]	[0,595 ; 0,212]
Importação	[0,287 ; 0,195]	[0,398 ; 0,096]
Termos de troca	[0,123 ; 0,094]	[0,187 ; 0,036]
Emissão CO ₂	[2,691 ; 1,388]	[2,985 ; 1,143]

Fonte: Valores resultantes da análise de sensibilidade da simulação PQ3.

²⁴ A essa consequência é dado o nome de leakage ou escape de carbono.

²⁵ Este valor de 50% foi estabelecido arbitrariamente, mas acredita-se que esta amplitude não é ultrapassada em muito pelos valores estimados na bibliografia pertinente.

Entre os parâmetros, foram selecionados para a análise de sensibilidade aqueles destacados nas Figuras 1 e 2 como os responsáveis pela substituição de energia entre os setores produtivos do modelo. Os primeiros são as elasticidades de substituição entre capital e energia, carvão e não carvão, eletricidade e não eletricidade, e entre os combustíveis fósseis remanescentes. Estes parâmetros calibram um conjunto de equações da estrutura de produção dos setores do GTAP-E que permite a substituição de energia entre seus usos alternativos.²⁶

Os resultados apontaram que as variáveis PIB, exportação, importação e termos de troca, foram pouco influenciadas pela inserção dessa estrutura de substituição no modelo. Isso pode ser observado pela baixa amplitude dos intervalos para essas variáveis na Tabela 5. Entretanto, a inclusão dessa estrutura no modelo é justificada quando se observa que a mudança na magnitude dos parâmetros causa variações significativas na emissão de CO₂.

Desenvolveu-se também a análise de sensibilidade nos choques de redução de CO₂. O motivo para a escolha deste choque específico reside principalmente na incerteza quanto a verdadeira redução que teria de ser imposta aos países do Anexo I, para que as emissões de CO₂ realmente voltassem 5% abaixo dos níveis de 1990. Como explicado na descrição dos cenários, existiu um gap entre o valor acordado no Protocolo de Quioto e o que deveria realmente ser exigido para envolver as emissões do período de 1990 até 1995. A influência desses choques nos resultados das simulações foi mais pronunciada nas emissões de CO₂. A variação dos choques afetou também, mas modestamente, o PIB, a exportação, a importação e os termos de troca.

5 Considerações Finais

A utilização de modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) para tratar de assuntos relacionados ao meio ambiente remonta ao início da década de 1990. Desde então, diversos pesquisadores têm analisado a relação entre comércio e meio ambiente sob a luz desse instrumento. O foco da análise empírica desse tema geralmente recai ou sobre os impactos ambientais decorrentes do aumento da atividade econômica ou sobre os impactos econômicos advindos das

²⁶ Foi considerada neste exercício uma variação conjunta nestes parâmetros para todas as regiões e setores, uma vez que os resultados da análise de sensibilidade individual para as elasticidades de substituição de energia mostraram resultados insignificantes em termos qualitativos (desvio-padrão muito pequeno para todas as variáveis).

políticas de preservação ambiental. No Brasil, o uso de modelos de EGC para tratar esse tema é ainda bastante incipiente, e segue a tendência de análise dual comentada na introdução, ou seja, se analisam separadamente os efeitos das políticas ambientais e de comércio sobre, respectivamente, o comércio e o meio ambiente.

Com o intuito de observar os impactos da política ambiental, sobre a economia brasileira de forma agregada e para alguns setores específicos, foram simulados cinco cenários com alternativas de implementação do Protocolo de Quioto. Os resultados obtidos corroboraram a hipótese de que a política ambiental de redução de emissões, apesar de contribuir para a diminuição de CO₂ na atmosfera, de forma geral, tende a afetar negativamente o bem-estar econômico, principalmente através do encarecimento das commodities de energia e a consequente redução do seu uso.

Como o Brasil tem sua matriz energética menos intensiva em carvão e petróleo relativamente a outras regiões, ele apresenta grande potencial para reduzir emissões sem comprometer significativamente o bem-estar e a eficiência alocativa. As simulações apontam que a melhor estratégia brasileira para participar do processo de redução de emissões seria a de o país estar inserido diretamente no mecanismo de comércio de emissões (proxy para redução de emissões certificadas). Essa situação, inclusive, traria ganhos de bem-estar econômico avaliados pela variação equivalente da renda (EV) superiores em comparação às alternativas em que o Brasil optasse por não participar de tal mecanismo.

A análise de sensibilidade não gerou mudança de sinal nas variáveis endógenas selecionadas. Esse resultado sugere que o modelo é robusto à escolha dos parâmetros, ou seja, não é afetado qualitativamente por suposições nas magnitudes dos mesmos. Entretanto, deve-se assinalar que as emissões de CO₂ são bastante sensíveis à estrutura de substituição de energia e aos choques de redução de emissões. Esses resultados sugerem que é preciso cautela para se fazer inferências a respeito desses efeitos, uma vez que suas magnitudes estão diretamente vinculadas às dos parâmetros utilizados para calibrar as funções correspondentes.

Como proposta para trabalhos futuros, sugere-se condicioná-la ao aperfeiçoamento e à transposição das limitações do modelo utilizado. Ou seja, modelos de EGC são simplificações da realidade que, muitas vezes, ignoram certos aspectos bastante importantes para determinadas análises. Neste estudo, que teve como um dos objetivos a avaliação de potenciais impactos sobre o bem-estar econômico

decorrentes do abatimento de emissões de CO₂, é muito importante levar em consideração a emissão dos outros gases que provocam o aquecimento global. Ainda, o modelo deveria considerar também outras atividades econômicas geradoras de gases do efeito estufa, além das industriais, como o uso da terra.

6 Referências

- AZEVEDO, A. Análise Empírica do Impacto Econômico da ALCA e da Consolidação do Mercosul sobre o Brasil. Programa de Pós-Graduação em Economia da UFRGS, 2003. (Texto para discussão, n.º. 12)
- BABIKER, M.; MASKUS, K.; RUTHERFORD, T. Carbon Taxes and the Global Trading System. University of Colorado, Working Paper n.97-7, Boulder, 1997.
- BHAGWATI, J. Trade and the Environment: The False Conflict? In: Zaelke, D. P. Orbuch and R. F. Housman (eds.), Trade and the Environment: Law, Economics, and Policy, Washington, DC: Island Press, 1993b.
- BOHRINGER, C.; PAHLKE, A. Environmental Tax Reforms and the Prospects for a Double Dividend – An Intertemporal General Equilibrium Analysis for Germany. Working Paper, University of Colorado, Boulder, 1997.
- BURNIAUX, J.M.; NICOLETTI, G.; OLIVEIRA MARTINS; J. GREEN: A Global Model for Quantifying the Costs of Policies to Curb CO₂ Emissions. OECD Economic Studies No. 19, Winter, p.49-92, 1992.
- BURNIAUX, J.M.; TRUONG, P.T. GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model. GTAP Technical Paper No. 16, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 2002. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso : Dez/2003.
- DESSUS, S. e BUSSOLO, M. Is There a Trade-off between Trade Liberalization and Pollution Abatement? A Computable General Equilibrium Assessment Applied to Costa Rica. Journal of Policy Modeling, v. 20, p. 11-31, 1998.
- DOMINGUES, E.P. Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- FELJO, F. T.; AZEVEDO, A. F. Z. Comércio e Meio Ambiente: Políticas Ambientais e Competitividade no Âmbito da ALCA. Revista de Economia Aplicada, v. 10, p. 561-587, 2006.
- GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper no. 3914, November, 1991.
- HERTEL, T. ed. Global Trade Analysis: Modeling and Applications. Cambridge University Press, New York, 1997.
- KEHOE, P. J.; KEHOE, T. J. A Primer on Static Applied General Equilibrium Models. Quarterly Review, Federal Reserve Bank of Minneapolis, Spring issue, p. 2-16, 1994.
- KUITI, O. The Effect of Trade Liberalization on Carbon Leakage under the Kyoto Protocol: Experiments with GTAP-E In: 4th Annual Conference on Global Economic Analysis, June 27-29. Purdue University, 2001.
- LEE, H. An Emissions Data Base for Integrated Assessment of Climate Change Policy Using GTAP. GTAP Technical Paper No. 1143, Center for Global Trade and Analysis, Purdue University, 2003. Disponível em: <http://www.gtap.agecon.purdue.edu/> Acesso: Jul/2004.

- LEE, H. e ROLAND-HOLST, D. The Environment and Welfare Implication of Trade and Tax Policy. *Journal of Development Economics*, v. 52, n.1, p. 65-82, 1997.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Pontos de vista do Brasil sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM), 1999. Disponível em: www.mct.gov.br Acesso: Agosto/2004.
- OCDE. Action Against Climate Change: The Kyoto Protocol and Beyond. OCDE Publications Service, 1999.
- PEREIRA, A.; MAY, P. Economia do Aquecimento Global. In: Peter May, Maria Cecília Lustosa e Valéria da Vinha (Orgs.) - Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- PERRONI, C.; WIGLE, R. M. International Trade and Environment Quality: How Important are the Linkages? *Canadian Journal of Economics*, v.27, n.3, p.551-67, 1994.
- PORTER, M. E.; van der LINDE, C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *Journal of Economic Perspectives*, v.9, p.97-118, 1995.
- PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: www.mct.gov.br. Acesso: Fev/2003
- RUTHERFORD, T.; MONTGOMERY, W.; BERNSTEIN, P. CETM: A Dynamic General Equilibrium Model of Global Energy Markets, Carbon Dioxide Emissions and International Trade. University of Colorado, Working Paper 97-3, Boulder, 1997
- SEROA DA MOTTA, R. Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio Ambiente no Brasil. Rio de Janeiro, IPEA, jan., 2002. (Texto para Discussão, 856). Disponível em: www.ipea.gov.br Acesso: Jun/2003.
- SIEBERT, H. Environmental Quality and the Gains from Trade, *Kyklos* v.30, n.4, p. 657-73, 1977.
- STRUTT, A.; ANDERSON, K. Will Uruguay Round and APEC Trade Liberalization Harm the Environment in Indonesia? ACIAR Indonesia Research Project Working Paper 98./02, 1999.
- TOURINHO, O.; ANDRADE, S. Cenários para o início do milênio no Brasil. IPEA, Abr., 1998. (mimeo)
- TOURINHO, O.; KUME, H.; PEDROSO, A. Elasticidades de Armington para o Brasil-1986-2002: novas estimativas. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. (Texto para Discussão: 974) Disponível em: www.ipea.gov.br Acesso: Out/2003.
- TOURINHO, O.; SEROA DA MOTTA, R.; ALVES, Y. Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. (Texto para Discussão: 976). Disponível em: www.ipea.gov.br Acesso: Dez/2003.
- WEYANT, J.P.; HILL, J. The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation: Introduction and Overview. *The Energy Journal Special Issue*: vii-xliv,1999.

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro ao projeto.
 Recebido em 25/06/2008.
 Aceito em 11/07/2008.