

IMPACTOS ECONÔMICOS PARA O BRASIL DE UM CHOQUE TECNOLÓGICO NA PRODUÇÃO DE ETANOL

Flavio Tosi Feijó¹

Augusto Mussi Alvim²

Resumo

O objetivo deste artigo é avaliar os impactos econômicos no Brasil quando ocorre uma mudança tecnológica no setor de cana-de-açúcar, em função de um aumento da demanda mundial por etanol. O instrumento utilizado para as simulações dos cenários, o GTAP (*Global Trade Analysis Project*), trata-se de um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) que dispõe de uma base de dados de 87 países e 57 setores e suas interligações. Os resultados obtidos com as simulações apresentaram ganhos de bem-estar e aumento do PIB para todas as regiões consideradas no modelo. Para o Brasil, o cenário que mostra maiores ganhos ocorre quando se simula uma melhora tecnológica e uma liberação total para a comercialização do etanol. Esses ganhos viriam, principalmente, do efeito direto da melhora tecnológica na produção e da melhor alocação dos recursos produtivos nos setores de manufaturas e no próprio setor sucroalcooleiro.

Palavras-chave: etanol, tecnologia, GTAP.

Abstract

This paper analyses the economic effects on Brazil of a technological improvement in the sugar cane sector in the case of an increase in worldwide ethanol demand. The instrument employed to perform the simulations is based on GTAP (*Global Trade Analysis Project*), a Computable General Equilibrium (CGE) model with a database of 87 countries and 57 sectors and its relationships. The results show that all regions of the model would have welfare gains and GDP increases. When it comes to Brazil, the best scenario would be the one with technological improvement along with the total elimination of ethanol commercial barriers. These gains would mainly come from the direct effects of technological improvement in production and from the best allocation of the productive resources in the manufacture sector as well as in the sugar cane sector itself.

Keywords: ethanol, technology, GTAP.

JEL CLASSIFICATION: I31, O14, Q27.

¹ Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia PPGE/FACE/PUCRS.

1. Introdução

Com o aumento da preocupação com o aquecimento global e o incremento nos preços de combustíveis nos últimos anos, existe cada vez mais a necessidade de buscar novas alternativas de energia. O álcool é um dos produtos brasileiros com maior potencial de expansão para os próximos anos. Isso também decorre do fato dos países signatários do Protocolo de Quioto considerarem os biocombustíveis como uma boa alternativa para a redução dos gases poluentes na atmosfera³. Como exemplo, pode-se citar o Japão, que pretende alterar a mistura da gasolina, acrescentando 3% de etanol, o que representa uma demanda adicional de seis bilhões de litros de álcool anidro por ano.

Segundo o Protocolo de Quioto (1997), o mundo terá que reduzir 25% das emissões de dióxido de carbono pela queima de motores a gasolina. Uma das alternativas a essa redução é a utilização do álcool combustível que, sendo anidro ou hidratado, substitui o uso de combustíveis fósseis. O Brasil, além de ser o maior produtor mundial de etanol, ainda é o pioneiro no desenvolvimento da tecnologia dos motores adaptados a esse combustível. Desde 2003, ocorre a produção dos carros bicombustíveis, fato que impulsionou a demanda de modo a atrair a atenção de investidores interessados em importar a nossa tecnologia a fim de cumprirem as metas do protocolo.

O álcool combustível ou carburante é também conhecido como etanol, álcool etílico e álcool de biomassa⁴. Pode ser obtido a partir de qualquer tipo de matéria orgânica que contenha açúcar, amido ou material com teor de celulose. É um produto renovável e limpo, que contribui para a redução do efeito estufa e diminui substancialmente a poluição do ar, minimizando os seus impactos na saúde pública. No Brasil, o uso intenso do álcool restringe a emissão de poluentes da crescente frota de veículos, principalmente monóxido de carbono, óxidos de enxofre e compostos orgânicos tóxicos como o benzeno e compostos de chumbo (UNICA, 2006).

Entretanto, para que o Brasil possa se beneficiar do crescente interesse pelo biocombustível nos países da União Européia, Estados Unidos, Japão, entre outros, a tecnologia, as condições de infraestrutura, e as oportunidades de crédito (considerados pontos fracos do setor sucroalcooleiro no Brasil) devem ser melhoradas. Com o propósito de atender toda essa potencial demanda por etanol, a tecnologia ocupa, certamente, um lugar especial entre os requisitos básicos.

Assim, pretende-se com o presente trabalho fazer uma avaliação de possíveis cenários de expansão tecnológica para os setores produtores de álcool no Brasil e no mundo, com a possibilidade também de uma liberalização comercial através da eliminação das barreiras tarifárias. Um dos instrumentos econômicos que tem sido recentemente utilizado para avaliar simulações de cenários é o modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC). Uma grande contribuição dos modelos EGC é que os mesmos podem fornecer informações *ex ante* para os formuladores de políticas, através da apresentação de cenários alternativos de situações reais. Esses modelos focalizam a interdependência dos mercados, possibilitando que se façam inferências sobre os impactos diretos e indiretos de

³ Tratado assinado na cidade de Quioto, no Japão, após uma série de negociações que se iniciaram concretamente com a adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, em Nova York, nos Estados Unidos, em 1992. O documento foi apresentado com propostas concretas em 1997, quando foi aberto à adesão dos países. Seu objetivo é estabilizar para uma média de 5,2%, em relação aos níveis de 1990, as emissões de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal.

⁴ Biomassa é a massa de matéria orgânica presente em um nível trófico ou em outra delimitação do ecossistema. (HOUAISS e VILLAR, 2001, p. 456).

externalidades de choques tecnológicos e de redução de tarifas comerciais sobre os custos de produção e bem-estar do consumidor, entre outros resultados.

Além desta introdução, este trabalho apresenta algumas características importantes do modelo, especialmente no que se refere à tecnologia e à construção dos cenários. Na terceira seção são apresentados os resultados das simulações e suas respectivas análises, especialmente para o Brasil. Por fim são apresentadas as principais contribuições do estudo nas considerações finais.

2. O modelo e a metodologia

Não é intenção descrever detalhadamente o modelo GTAP, pois sua teoria já está muito bem documentada em Hertel (1997). Entretanto, resumidamente, pode-se dizer que o GTAP é um modelo padrão multirregional de equilíbrio geral aplicável que assume retornos constantes de escala e competição perfeita nas atividades de produção e consumo. O funcionamento da economia global do GTAP pode ser explicado por meio da análise de uma região arbitrária e seus relacionamentos com as outras regiões, através da imposição de condições de equilíbrio entre os agentes globais. Em cada região existem (j) indústrias utilizando (i) fatores primários e (i) insumos intermediários, tanto produzidos localmente quanto importados.

Os fatores primários são de propriedade dos agentes domésticos (representado por um “agente regional”), que também recebem todas as receitas de impostos recolhidas na região e fazem as devidas 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 das regiões exportadoras e vendem para as regiões importadoras. Nesta transação, os 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.

2.1. Mudança tecnológica no GTAP

O modelo utiliza uma estrutura de “ninho” de três níveis na especificação da função de produção, conforme ilustrado na Figura 1. No topo, a função de produção assume substitutibilidade zero entre os fatores primários de produção e os insumos intermediários (tecnologia de Leontief). Assim, o *mix* ótimo de fatores primários é independente dos preços dos insumos intermediários, enquanto o *mix* ótimo de insumos intermediários não varia com o preço dos fatores primários.

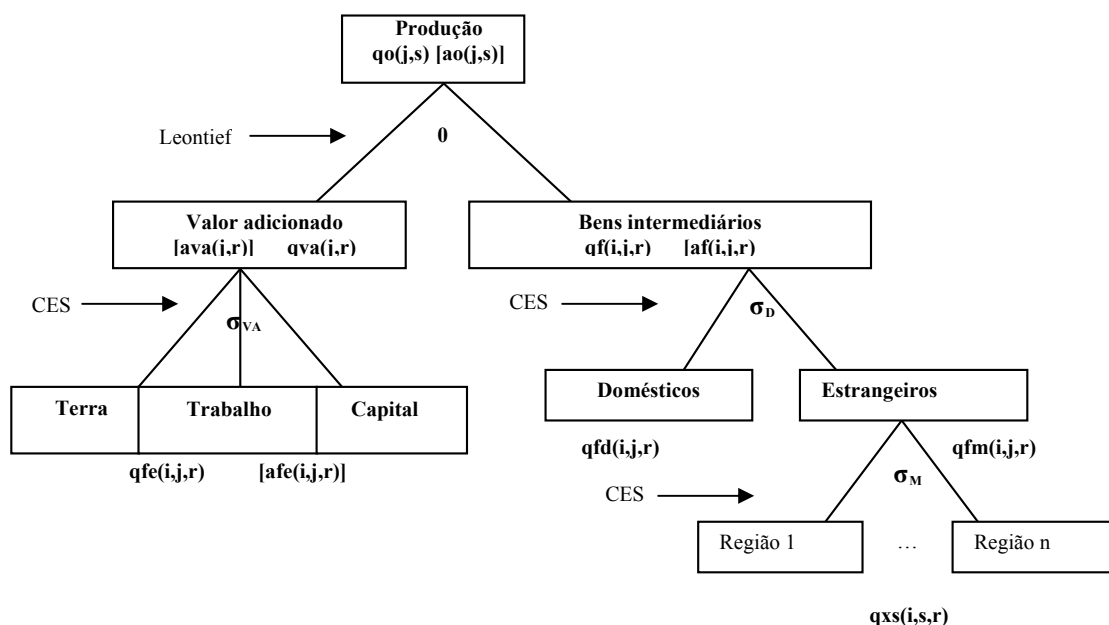


FIGURA 1 - Estrutura Produtiva do GTAP

Fonte: Hertel, 1997

O segundo nível envolve uma elasticidade de substituição constante tanto entre os insumos intermediários como entre os fatores de produção (σ_{VA}). Assume-se que os insumos importados são diferenciados por origem (σ_M), assim como os insumos domésticos são discriminados em relação aos importados (σ_D). Isto é, as firmas inicialmente determinam o *mix* ótimo de insumos domésticos e importados e somente depois decidem a respeito da origem das importações (hipótese de *Armington*).⁵ O nível mais baixo do ninho também assume uma elasticidade de substituição constante entre insumos importados de diferentes origens.

Para ilustrar como um choque tecnológico pode afetar as variáveis do modelo, apresentam-se as equações (1) e (2). Essas equações descrevem o ninho do valor adicionado da árvore tecnológica. Especificamente, elas explicam como as variações nos preços do grupo valor-adicionado (*pva*) e na demanda condicional (*qfe*) para os fatores capital, terra e trabalho em cada setor. O coeficiente *SVA* (*i,j,r*) refere-se a participação do fator *i* no custo total do valor-adicionado no setor *j* da região *r*.

$$pva(j,r) = \sum_{k \in \text{ENDW}} SVA(i,j,r) \cdot [pfe(i,j,r) - afe(i,j,r)] \quad (1)$$

$$qfe(i,j,r) + afe(i,j,r) = qva(j,r) - \sigma_{VA}(j) \cdot [pfe(i,j,r) - afe(i,j,r) - pva(j,r)] \quad (2)$$

⁵ A estrutura de preferências de *Armington* implica que um bem produzido em uma região é um substituto imperfeito para bens produzidos pela mesma indústria em outras regiões. Ou seja, a mesma *commodity*, de diferentes fontes, pode ser comercializado a preços diferentes.

As equações também incluem variáveis que governam a taxa de melhora tecnológica do fator primário, $afe(i,j,r)$. Essa taxa representa a variação efetiva do insumo primário i no setor j da região r . Como um valor de $afe(i,j,r) > 0$ resulta em um declínio no preço efetivo do fator primário i , o mesmo aparece nas equações como uma dedução de $pfe(i,j,r)$ e, portanto, tem as seguintes implicações: a) encorajar a substituição do insumo primário i por outros insumos primários. Isso pode ser ilustrado através da observação do lado direito da igualdade da equação (2); b) diminuição da demanda pelo insumo i , através do lado esquerdo da mesma equação; c) redução do custo para o grupo valor-adicionado via a equação (1).

No nível superior da árvore tecnológica invertida tem-se a demanda pelo composto valor-adicionado e insumos intermediários. Como o modelo não admite substituição entre intermediários e valor-adicionado⁶, o efeito substituição causado pelo preço relativo é suprimido, ficando apenas o efeito expansão. Nesse nível da árvore tecnológica existem três tipos de mudança tecnológica. As variáveis $ava(j,r)$, e $aj(i,j,r)$ referem-se respectivamente, às mudanças tecnológicas nos insumos dos grupos valor-adicionado e intermediários. A variável $ao(j,r)$ à mudança tecnológica Hicks-neutra. Essa última reduz o requerimento de insumo associado à produção de um dado nível de produto.

2.2 Fechamento (*Closure*) e agregação

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 a resolução do 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 chamando de neoclássico.⁷ Neoclássico porque, ao contrário dos fechamentos não-neoclássicos que consideram o investimento fixo, esse permite o investimento se ajustar a variações na poupança. Os fatores de produção que tem mobilidade entre os setores são capital, mão de obra. O grau de mobilidade dos fatores de produção é governado por uma elasticidade de transformação constante. Terra é o fator de produção imóvel.

Os critérios de agregação utilizados para simulações de EGC não seguem uma regra única e dependem basicamente do interesse do pesquisador. Na agregação regional, quando a ênfase é dada para a formação de blocos regionais, por exemplo, geralmente procura-se contemplar os principais parceiros comerciais envolvidos no experimento. As agregações podem ser observadas na Tabela 1. O equilíbrio inicial foi caracterizado pela economia no ano de 2001, de acordo com a base de dados do GTAP. Na agregação regional, os blocos foram separados de acordo com os principais produtores e mercados consumidores, porém o presente trabalho detém a sua análise no Brasil. Já a agregação setorial usada foi separada de acordo com os principais setores interligados ao setor a ser afetado pelo choque, que é o de cana-de-açúcar. Como não foi possível desagregar o etanol, por não constituir um setor isolado na base de dados do modelo, foram adotadas como *proxies* para o mesmo - cana e açúcar para o Brasil e outros produtores, e milho para os EUA - já que a oferta desses setores pode ser adaptada facilmente para a produção de etanol, conforme os interesses comerciais dos produtores. Por isso, a partir deste momento, utilizar-se os termos etanol e cana como sinônimos.

⁶ Essa simplificação resulta da suposição do modelo que assume uma função Leontief nesse nível de produção.

⁷ O termo “*closure*” macroeconômico foi utilizado por Sem (1963) para definir uma situação na qual não existe mecanismo intertemporal para definir o investimento, ou seja, o modelo precisa ser “fechado” em determinado ponto do tempo.

Tabela 1 - Agregação regional e setorial

AGREGAÇÃO REGIONAL	AGREGAÇÃO SETORIAL
<p>1. BRASIL 2. EUA 3. RNAFTA México e Canadá. 3. OPROD (outros produtores) Austrália, China, Coréia, Tailândia, Índia e Colômbia. 4. EU (União Eurpéia) Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Reino Unido, Grécia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Portugal, Espanha, Suécia. 4. RESTO DO MUNDO (ROW) Suíça Nova Zelândia, Japão, Resto da Área de Livre-comércio da Europa, Resto do EFTA, Albânia, Bulgária, Croácia, Chipre, Republica Checa, Hungria, Malta, Polônia, Romênia, Eslováquia, Eslovênia, Estônia, Letônia, Lituânia, Federação Russa, Resto da Antiga URSS, Turquia, Resto do Oriente Médio, Marrocos, Tunísia, Resto da África do Norte, Botsuana, África do Sul, Resto da União África do Sul, Malawi, Moçambique, Tanzânia, Zâmbia, Zimbábue, Outros da África do Sul, Madagascar, Uganda, Resto da África Sub-Saariana, Argentina, Uruguai, América Central, Caribe, Peru, Venezuela, Resto do Pacto Andino, Chile, Resto da América do Sul, China, Coréia, Taiwan, Indonésia, Malásia, Singapura, Vietnam, Resto da Antiga União Soviética, Resto da União Aduaneira da África do Sul, Resto da África Sub-Saariana, Resto do mundo.</p>	<p>1-Cana Açúcar e cana-de-açúcar 2. Milho Milho 3. Alimentos Arroz com casca, arroz processado, trigo, outros cereais em grão, vegetais, frutas e nozes, fibras à base de plantas, outras colheitas, bovinos, ovinos, caprinos, eqüinos, outros produtos animais, leite não-processado, lã, bicho-da-seda, produtos da carne bovina, outros produtos da carne, óleos e gorduras vegetais, produtos diários, outros produtos alimentícios, bebidas e tabaco. 4. Manufaturas Silvicultura, pesca, carvão, petróleo, gás natural, minerais, têxteis, vestuário, produtos de couro, produtos de madeira, produtos de papel, publicações, produtos derivados do petróleo e carvão, produtos químicos, de borracha e de plástico, outros produtos minerais, metais ferrosos, outros metais, produtos de metal, veículos e suas partes, equipamentos de transporte, equipamentos eletrônicos, outras máquinas e equipamentos, outras manufaturas. 4-Serviços Eletricidade, produção e distribuição de gás natural, água, construção, comércio, transporte aquático, transporte aéreo, outros transportes, comunicação, outros serviços financeiros, seguros, outros negócios, recreação e outros serviços, administração pública e defesa, educação, saúde, habitação.</p>

Fonte: Base de dados do GTAP 6.

2.2 Cenários

Com a “nova” expansão no uso do etanol nos carros *flex*, como uma alternativa aos combustíveis derivados de petróleo, o setor está se vendo pressionado a tomar medidas que ajudem a expandir a produção de maneira a responder a essa demanda crescente. O Brasil, apesar de ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, ainda tem um grande potencial a ser explorado em termos de eficiência econômica, e isso pode ser obtido através da simulação de choques de tecnologia no processo de produção da cana para o Brasil e outros produtores, e de milho para os EUA (quando for o caso).

O uso de avançadas tecnologias agrícolas, industriais e novas formas de gestão evidenciam a preocupação em reduzir custos, bem como o intenso aproveitamento econômico dos subprodutos derivados da cana. Ademais, a crescente concentração da produção em grandes grupos e a entrada de capital estrangeiro no setor canavieiro também constitui importantes mudanças nesse mercado. Cabe

frisar que a competitividade é entendida como a capacidade da empresa de formular e/ou implementar estratégias concorrenciais, que lhes possibilitem aumentar ou mesmo preservar uma posição sustentável no mercado.

Como exposto na metodologia deste trabalho, um choque tecnológico positivo tem a propriedade de reduzir o preço dos insumos utilizados no processo produtivo. As variáveis selecionadas para receber os choques são as seguintes: ao (j,r) - (tecnologia na produção do setor j da região r); afeall (i,j,r) - tecnologia na utilização do insumo primário i, utilizado pelo setor j, na região r; e afall (i,j,r) - tecnologia na utilização do insumo intermediário i, pelo setor j na região r. Devido ao fato da base de dados do GTAP não contemplar o setor de produção de etanol isoladamente foi necessário adotar como uma *proxy* para esse produto os insumos cana-de-açúcar e/ou milho, dependendo do caso.⁸

a) *CenR (cenário referência)– Choque tecnológico no mundo*

Este cenário promove a simulação de um choque de tecnologia na produção de etanol (*proxy*) nos principais produtores mundiais para tentar captar uma situação de aumento na utilização desse combustível como alternativa aos combustíveis fósseis no mundo. Os choques nessa simulação envolvem melhoras tecnológicas nas regiões do Brasil, EUA e OPROD. Foi assumido que a cana é o insumo utilizado no Brasil e em OPROD para a produção de etanol, enquanto que nos EUA o insumo utilizado é o milho.

Quadro 1 – Sumário dos choques de melhora tecnológica

Experimento País	CenR		Cen1		Cen2*		Cen3	
	ΔTec	PART.	ΔTec	PART.	ΔTec	PART.	ΔTec	PART.
Brasil	30%	Sim	30%	Sim	30%	Sim	30%	Sim
EUA	30%	Sim	-	Não	-	Não	30%	Sim
OPROD	30%	Sim	-	Não	-	Não	-	Não
RNAFTA	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Não
EU	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Não
ROW	-	Sim	-	Não	-	Não	-	Não

Nota: PART significa se o país adere ou não ao uso do etanol como combustível.

*Este cenário contempla também a liberação comercial para o etanol.

b) *Cen1 - Choque tecnológico no Brasil*

Este cenário é representativo de uma situação na qual a utilização mais intensiva do etanol ficaria restrita às fronteiras geográficas do Brasil. Assim, somente os choques relativos ao Brasil foram simulados.

c) *Cen2 - Choque tecnológico no Brasil com liberação comercial*

Neste, além dos choques implementados no cenário “b” acima, foi simulada a completa remoção de barreiras ao comércio mundial de etanol, através da remoção das tarifas de exportação e importação entre todas as regiões contempladas pela base de dados utilizada neste modelo.

⁸ Os choques nos mesmos estão sumarizados no Quadro 1.

d) Cen3 - Choque tecnológico no Brasil e EUA

Este cenário é construído sob a premissa que somente o Brasil e os EUA passem a utilizar intensivamente o etanol como substituto aos combustíveis fósseis e, portanto, os choques de melhora tecnológica são implementados somente nesses países.

3 - Resultados

Partindo de um estado de equilíbrio, em modelos de equilíbrio geral, os choques provocam um “desequilíbrio” através de uma variação exógena em determinada(s) variável(eis), que neste caso foi uma melhora tecnológica. Para o modelo atingir um novo equilíbrio, é preciso que ocorram mudanças em variáveis endógenas das equações do modelo. A seguir serão exploradas em maiores detalhes algumas dessas variáveis. Porém, antes de se partir para a análise dos resultados, cumpre-se fazer um breve comentário sobre o que vem a ser bem-estar e sua decomposição no contexto deste trabalho.

3.1 – Impactos no bem-estar econômico e sua decomposição

A fonte de variação de bem-estar gerada no GTAP é resultado, por exemplo, da retirada ou imposição de distorções (impostos, subsídios e taxas) ou então devido a variações na condição tecnológica de determinado mercado em dada região.⁹ A Variação Equivalente (EV) associada com uma perturbação no modelo GTAP (medida utilizada como *proxy* para o bem-estar econômico) é igual a diferença entre a despesa requerida para obter o novo nível de utilidade (após a simulação) aos preços iniciais (Y_{EV}) e o nível de utilidade disponível no equilíbrio inicial (Y), ou seja, $EV = Y_{EV} - Y$ (McDougall, 2001). Essa medida pode ser decomposta em quatro componentes: efeitos tecnológicos (no caso específico deste trabalho), efeitos alocativos, termos de troca, e o saldo investimento-poupança.

A Tabela 1 mostra os ganhos (perdas) de bem-estar econômico representados pela variação equivalente da renda nos quatro cenários simulados nesta seção. Em termos globais, o cenário que mais impôs ganhos foi o denominado de CenR.¹⁰ Neste cenário todas as regiões seriam beneficiadas, sendo este resultado positivo, consequência da possibilidade de um maior número de regiões se beneficiarem da melhora tecnológica imposta pelos choques. Em termos regionais observa-se que os EUA obteriam o melhor resultado em termos absolutos, contabilizando um ganho de US\$ 7,8 bilhões nesse cenário. Apesar do Brasil ser o maior produtor mundial de etanol, ele aparece em terceiro lugar por esse critério, logo após de OPROD (US\$ 6,8 bilhões). A seguir buscar-se-á apontar os motivos para isso.

Analisando-se isoladamente o Brasil, verifica-se que a melhor situação ficaria por conta do Cen2. Este cenário traria maiores ganhos, pois o Brasil, além de ser beneficiado pela melhora tecnológica, também o seria pela remoção das restrições à entrada do etanol em todos os países do mundo. Essa situação pode ser observada isoladamente através da Tabela 1 no subtotal referente ao cenário 2 (SubCen2) no valor de US\$ 181 milhões. Curiosamente, o uso intensivo do etanol no mundo, que é representado por CenR, é o cenário que apresenta o menor valor em termos de bem-estar econômico

⁹ O tamanho do ganho associado à retirada dessa distorção é uma função do tamanho da distorção inicial, da magnitude dessa variação, e da sensibilidade de resposta do mercado atingido por tal mudança.

¹⁰ No somatório global da EV para as regiões do modelo (WEV), obtiveram-se os seguintes resultados em US\$ Bilhões: CenR=25,4; Cen1=4,0; Cen2=8,3 e Cen3=16,3.

para o Brasil (US\$ 2,4 bilhões). À medida que a análise for aprofundada poderão ser identificados os fatores condicionantes dessa situação.

Tabela 1 – Variação do bem-estar econômico (EV) – US\$ milhões

Regiões	CenR	Cen1	Cen2	SubCen2	Cen3
Brasil	2.414,26	2.846,79	3.195,03	181,14	2.767,19
EUA	7.850,21	67,37	42,11	-21,53	7.684,51
OPROD	6.858,99	-31,47	447,72	547,18	753,49
RNAFTA	969,60	21,28	35,03	17,89	878,93
EU	829,96	179,58	2.091,07	1.863,82	494,81
ROW	6.523,21	946,08	2.497,51	1.797,41	3.699,04

Fonte: Valores resultantes das simulações.

Como esperado, o efeito tecnológico foi a fonte de maior ganhos para Brasil em todos o cenários (Tabela 2). Considerando os outros efeitos, observa-se que o efeito alocativo foi o segundo maior responsável pelos ganhos de bem-estar obtidos, sendo que no Cen2 foi atingido o valor de US\$ 449 milhões. É também no Cen2 que o Brasil apresenta o melhor saldo de investimento-poupança (US\$ 53,7 milhões). O sinal positivo dessa variável significa que o país apresenta-se como um supridor líquido de poupança para o resto do mundo. Por outro lado, os termos de troca, foram afetados de forma negativa. A maior perda foi verificada no CenR, US\$ 703 milhões.

Tabela 2 – Decomposição do bem-estar econômico no Brasil – US\$ milhões

Decomposição	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Alocativo	345,32	397,92	448,90	395,93
Tecnológico	2.739,31	3.017,23	3.164,42	3.014,74
Termos de Troca	-703,55	-621,92	-491,70	-692,58
Inv./Poup.	33,17	53,57	73,41	49,09
Total	2.414,26	2.846,79	3.195,03	2.767,19

Fonte: Valores resultantes das simulações.

O progresso tecnológico implica em ganhos de produtividade em termos de variação de custos provocados por uma melhora no nível de tecnologia adotado numa região (r), no setor (j) influenciando os preços e quantidades produzidas. Observa-se através Tabela 3, que foi no nível de produção onde se obteve o maior impacto. De novo, o mesmo modelo de resultados é mantido – o Cen2 apresenta o melhor desempenho, e o CenR, o pior. Esse mesmo padrão de comportamento é mantido nos outros níveis, com os insumos intermediários proporcionando melhores resultados do que no nível de fatores primários.

Tabela 3 – Fonte dos ganhos tecnológicos por cenários para o Brasil – US\$ milhões

Fonte \ Cenários	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Produção	1.850,17	2.083,22	2.206,64	2.081,16
Fator primário	334,82	379,26	402,91	378,74
Insumos	554,32	554,75	554,87	554,85
Total	2.739,31	3.017,23	3.164,42	3.014,74

Fonte: Valores resultantes das simulações.

Os efeitos alocativos da Tabela 4, no contexto dessas simulações, mostram que a parcela do bem-estar proveniente dos ganhos de eficiência é ocasionada pela remoção das distorções causadas pela incidência de tarifas sobre o comércio ou por uma melhora tecnológica. Produtos domésticos e importados mais baratos, por exemplo, provocam ganhos tanto através do consumo ampliado como na forma como os recursos produtivos domésticos são aplicados. Os setores mais beneficiados pelos choques tecnológicos foram, pela ordem no Cen2 (maiores ganhos alocativos), o setor de manufaturas (US\$ 196,7 milhões), sucroálcooleiro ou Cana (US\$ 119,8 milhões), o de serviços (US\$ 80,3 milhões), e o de alimentos (US\$ 51,5 milhões). Os outros cenários mostram o mesmo padrão de ganhos para todos os setores considerados. O segundo melhor cenário foi o que admite os choques somente no Brasil (Cen1), seguido pelos cenários Cen3 e CenR.

Tabela 4 – Efeito alocativo por setor e cenários no Brasil – US\$ milhões

Setores \ Cenários	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Cana	59,52	91,03	119,81	90,76
Milho	2,55	0,31	0,48	2,65
Alimentos	50,01	52	51,58	50,91
Manufaturas	171,68	183,74	196,72	180,87
Servicos	61,57	70,83	80,3	70,73
Total	345,32	397,92	448,9	395,93

Fonte: Valores resultantes das simulações.

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. Observa-se na Tabela 5 que a perda nos termos de troca no Brasil pode ser creditada exclusivamente ao setor Cana, haja vista que nos outros setores houve ganhos. Essa piora nos termos de troca no setor de Cana, particularmente no Cen2 onde ocorreu a maior perda, é uma possibilidade que surge da liberação do comércio (via eliminação de tarifas) e da melhora tecnológica, uma vez que em ambas as situações ocorrem quedas nos preços. O resultado da piora nos termos de troca para o Brasil no CenR no total significa que o mundo seria beneficiado pela queda dos preços do etanol brasileiro.

Tabela 5 – Termos de troca por setor e cenários no Brasil – US\$ milhões

Setores	Cenários			
	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Cana	-901,63	-1145,17	-1257,11	-1148,14
Milho	1,33	8,81	12,56	4,72
Alimentos	27,14	96,85	159,99	89,03
Manufaturas	91,35	285,42	423,65	243,04
Servicos	77,25	131,27	168,51	117,77
Total	-704,56	-622,81	-492,4	-693,57

Fonte: Valores resultantes das simulações.

3.2 – Impactos em outras variáveis macroeconômicas

Em termos globais, o aumento na atividade econômica, representada pela variável *qgdp* na Tabela 6 (índice de quantidade do PIB), é mais pronunciado no CenR. A simulação desse cenário geraria crescimento econômico em todas as regiões consideradas pelo modelo. O Brasil seria o maior beneficiado com um impacto sobre o PIB na ordem de 0,61%, seguido de OPROD e EUA com, respectivamente, 0,29% e 0,10%. 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).¹¹ Azevedo (2003) afirma, que nestes modelos, somente os ganhos estáticos associados a uma melhor alocação dos recursos e melhorias dos termos de troca e, no caso deste trabalho a tecnologia, são levados em consideração. Ao contrário, modelos com competição imperfeita (segunda geração) e modelos dinâmicos (terceira geração) tendem a apresentar uma magnitude maior como resultado de experimentos de políticas comerciais.

Tabela 6 – Variação % do PIB (índice de quantidade de PIB – *qgdp*)

Regiões	Cenários				
	CenR	Cen1	Cen2	SubCen 2	Cen3
Brasil	0,61	0,68	0,72	0,01	0,68
EUA	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10
OPROD	0,29	0,00	-0,01	-0,01	0,03
RNAFTA	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
EU	0,01	0,00	0,03	0,03	0,01
ROW	0,04	0,00	0,03	0,02	0,01

Fonte: Valores resultantes das simulações.

¹¹ Baldwin and Venables (1995) dividem a análise baseada em modelos de equilíbrio geral computável em três gerações conforme seus efeitos. A primeira fase se baseia em uma estrutura de mercado onde prevalece a competição perfeita onde ganhos dinâmicos não são considerados. Nestes modelos somente ganhos estáticos associados com uma melhor alocação de recursos e melhorias nos termos de troca tem lugar. A segunda fase compreende avaliações baseadas em modelos de competição imperfeita onde economias de escala e diferenciação de produto apresentam um papel relevante em

Para o Brasil, o melhor resultado sob a ótica do PIB seria mais uma vez o Cen2. Entretanto, observa-se que os outros cenários apresentam resultados muito próximos e que a diferença parece ocorrer devido ao fato do Cen2 incluir a liberação comercial para o produto em questão. Os setores responsáveis pelo aumento do PIB nesse cenário seriam o setor de Cana (100%), Serviços (0,29%) e de bens de capital (1,5%). Os setores que registrariam quedas seriam os de Milho (- 1,5%), Alimentos (- 0,8%), e Manufaturas (- 1,9%).¹² Observando-se outras variáveis para o Brasil na Tabela 7 nota-se que esse cenário também proporciona o maior aumento de renda para as famílias (2%), porém, com aumento na inflação de 1,2%. Portanto, sob a perspectiva de inflação o melhor cenário seria o CenR que também geraria o mais baixo desempenho em termos de aumento da atividade econômica, nas comparação com os outros cenários. Ou seja, é possível observar um *trade off* entre inflação e atividade econômica em função dos choques implementados. O cenário que apresentou maiores aumentos de preços foi o Cen2 com, respectivamente, 1,8% e 1,1%, para Serviços e Alimentos.

Tabela 7 – Variação % de variáveis macroeconômicas selecionadas

Variável	Cenários				
	CenR	Cen1	Cen2	SubCen 2	Cen3
PIB	0,61	0,68	0,72	0,01	0,68
RENDA	1,05	1,64	2,07	0,21	1,53
IPC	0,37	0,85	1,2	0,17	0,76

Fonte: Valores resultantes das simulações.

A Tabela 8 apresenta a variação percentual das exportações brasileiras de etanol. Podemos observar que, com exceção para OPROD no CenR, haveria um incremento das exportações em todos os outros cenários para todos os destinos. Entretanto, é no Cen2 que acontecem os maiores aumentos, especialmente para os EUA, OPROD e EU (União Européia), nos quais ocorreriam, respectivamente, incrementos de 1.590%, 1.276% e 11.834%.

Tabela 8 – Exportações brasileiras de etanol - variação %

Regiões	Cenários			
	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Brasil	178,01	209,21	142,51	208,84
EUA	391,1	496,29	1590,76	496,08
OPROD	-10,94	537,01	1276,63	536,31
RNAFTA	241,4	414,49	396,19	407,93
EU	559,48	583,74	11834,47	582,78
ROW	166,24	322,21	282	321,02

Fonte: Valores resultantes das simulações.

É importante deixar claro que o volume de exportação desse produto para esses destinos antes da simulação - ou seja, a base de comparação - é muito pequena, porém, é nessas regiões onde incidem

determinados setores industriais. A terceira fase introduz os efeitos da integração nos níveis de poupança, investimento e crescimento econômico.

¹² Os outros cenários apresentariam resultados semelhantes, porém, em magnitudes um pouco menores.

as maiores proteções tarifárias e, portanto, as maiores fontes potenciais o aumento das mesmas.¹³ Convém salientar que a linha que contém o Brasil como destino refere-se ao consumo interno do produto, portanto, é no Cen2 que também ocorre o menor aumento do consumo interno (142%) em comparação com os outros cenários.

Finalmente, a Tabela 9 apresenta o resultado da variação na utilização dos fatores no setor de Cana brasileiro nos quatro cenários simulados. O CenR apresentaria variação negativa para todos os recursos considerados, sendo que o setor de capital seria o mais prejudicado com -20,4%. Nos outros cenários o fator trabalho é o que seria mais impactado. Particularmente no Cen2, todos os fatores teriam um significativo aumento em suas utilização. O fator trabalho apresentaria uma variação positiva de 38,4%. Em termos de equilíbrio geral, isso ocorreria devido, principalmente, ao aumento do valor adicionado e queda do preço desse fator nesse setor em função do choque tecnológico, aliado ao aumento das exportações (resultado semelhante à utilização do fator capital). Em menores magnitudes aumentaria também a utilização da terra (15%) e de outros recursos naturais (0,04%).

Tabela 9 - Utilização dos fatores no setor Cana no Brasil – variação %

Fatores	Cenários			
	CenR	Cen1	Cen2	Cen3
Terra	-10,62	3	15,03	3,41
Trabalho	-15,69	11,75	38,38	11,45
Capital	-20,37	5,51	30,65	5,25
Recursos Naturais	-0,02	0,02	0,04	0,01

Fonte: Valores resultantes das simulações.

4. Conclusão

As questões ambientais estabelecidas no Protocolo de Quioto relacionadas às emissões de CO₂ decorrentes do uso de combustíveis fósseis, fizeram que o mundo se atentasse para as necessidades urgentes do desenvolvimento de substitutos capazes de conter a expansão do efeito estufa. O etanol desenvolvido no Brasil passou a ser uma importante alternativa como substituto ao petróleo. Entretanto a tecnologia adotada pelo setor, tanto na etapa agrícola como industrial, carece de expansão e redução de custos de forma que a produção de cana-de-açúcar se torne mais competitiva. Assim, com o aumento da produção poderá se atender a demanda excedente ocasionada pelo *boom* dos carros *flex*, bem como a necessidade do mercado internacional na adoção de combustíveis renováveis e ambientalmente menos danosos à sociedade - como é o caso do etanol.

Neste trabalho foram simulados quatro cenários para se verificar os efeitos da melhora tecnológica nos setores envolvidos na produção de etanol. A atividade econômica (PIB), renda da população e exportações seriam afetados positivamente nos três cenários. No primeiro cenário, a suposição de choques de tecnologia para as principais regiões produtoras de etanol mostrou que um avanço tecnológico em escala mundial traria melhoria do bem-estar econômico para todas as regiões consideradas neste trabalho. Entretanto, para o Brasil, o cenário que traria maiores ganhos seria o que admite, simultaneamente, a melhora tecnológica e a liberação total para a comercialização do etanol (Cen2). Esses ganhos viriam, principalmente, do efeito direto da melhora tecnológica na produção e da

¹³ A base de dados utilizada registra magnitudes de tarifas de importação de 43%, 20% e 184% para EUA, OPROD e EU, respectivamente.

melhor alocação dos recursos produtivos nos setores de manufaturas e no próprio setor sucroalcooleiro. O trabalho seria o fator de produção que teria a sua utilização aumentada em maior magnitude. Esses resultados corroboram a intuição de que a liberalização comercial combinada ao uso intensivo do etanol como combustível, é fundamental para as aspirações brasileiras de tornar essa atividade mais uma fonte de desenvolvimento para o Brasil.

Apesar dos resultados alcançados com este trabalho serem importantes do ponto de vista teórico, conclusões mais precisas carecem de maior investigação empírica com modelos mais precisos. No que tange aos dados, uma modificação importante seria a de desagregar o etanol da base de dados. Isso permitiria avaliar os efeitos dos choques de forma mais precisa. Pelo lado da teoria, a incorporação de concorrência imperfeita e de rendimentos de escala seria um importante aspecto a ser considerado. Entretanto, para tal, é preciso que se tenham boas estimativas de margens de *markup* e extensão das economias de escala.

Referências

AGROANALYSIS. Preço com sustentação. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro: FGV, v.25, n.5, p.E7. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica>>. Acesso em: 12 abr. 2006.

BRAUNECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S. Cultura é fonte sustentável de empregos. *Visão agrícola*, São Paulo, n.1, jun. 2004.

AZEVEDO, A. *Análise Empírica do Impacto Econômico da ALCA e da Consolidação do Mercosul sobre o Brasil*. Mimeo. Texto para discussão n. 12. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BALDWIN, R. and VENABLES A., 'Regional economic integration', in Grossman, G. and K. Rogoff (eds), *Handbook of International Economics*, vol. 3, Amsterdam: North Holland, 1597-1644, 1995.

EXAME. Etanol – A nova riqueza do Brasil. *Revista Exame*, edição 870, jun. 2006.

FEIJÓ, F.T. *Alca e o Protocolo de Quioto – Uma avaliação integrada utilizando o GTAP-E*. Tese (Doutorado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FEIJO, F. T. e 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.

HERTEL, T. *Global Trade Analysis: modeling and applications*. New York: Cambridge University Press, 1997.

HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HORII, J. A cana-de-açúcar como matéria-prima. *Visão agrícola*, São Paulo, n.1, jun. 2004.

LEITE, R.C. *Proálcool, a única alternativa para o futuro*. Campinas: UNICAMP, 1990. pp.45-48.

MORAES, M.A.F.D. de. *Desregulamentação da agroindústria canavieira: novas formas de atuação do Estado e desafios do setor privado*. In: MORAES, M.A.F.D. de e SHIKIDA, P.F.D.M. (orgs.). *A agroindústria canavieira no Brasil*. São Paulo: Atlas, 2002. pp. 21-41.

PROTOCOLO DE QUIOTO, 1997. Disponível em: <www.mct.gov.br> Acesso: Fev/2006.

SALOMÃO, A. A revolução que vem de fora. *Revista Exame*, v. 4, n. 862, p. 40-42, mar. 2006.

SALOMÃO, A.; ONAGA, M. Etanol. In: Etanol – A nova riqueza do Brasil. *Revista Exame*, edição 870, p. 18-24, jun. 2006.

SCANDIFFIO, M.I.G. *Análise prospectiva do álcool combustível no Brasil - Cenários 2004-2024*. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SEM, A. Neo-classical and neo-Keynesian Theories of Distribution. *Economic Record*, v. 39, p.54-64, 1963.

SOUZA, Z.J. de. Evolução e considerações sobre a co-geração de energia no setor sucroalcooleiro. In: MORAES, M.A.F.D. de e SHIKIDA, P.F.D.M. (orgs.). *A agroindústria canavieira no Brasil*. São Paulo: Atlas, 2002.

SZMRECSÁNYI, T. Efeitos e Desafios das novas tecnologias na agroindústria canavieira. In: MORAES, M.A.F.D. de e SHIKIDA, P.F.D.M. (orgs.). *A agroindústria canavieira no Brasil*. São Paulo: Atlas, 2002.

TETTI, R. *Protocolo de Kyoto: oportunidades para o Brasil com base em seu setor sulcroalcooleiro: um pouco da história da questão mudanças climáticas e efeito estufa*. In: MORAES, M.A.F.D. de e SHIKIDA, P.F.D.M. (orgs.). *A agroindústria canavieira no Brasil*. São Paulo: Atlas, 2002. pp.199-213.

UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/portalunica>>. Acesso em: 12 abr. 2006.