

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIENCIAS SOCIAIS APLICADAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA - PIMES**

André de Souza Melo

**BIOCOMBUSTÍVEIS E CULTURAS ALIMENTARES: UM ESTUDO DA  
RELAÇÃO DE CAUSALIDADE ENTRE OS PREÇOS DO AÇÚCAR, DO  
ETANOL E DO PETRÓLEO NO BRASIL**

Recife  
2009

André de Souza Melo

**BIOCOMBUSTÍVEIS E CULTURAS ALIMENTARES: UM ESTUDO DA  
RELAÇÃO DE CAUSALIDADE ENTRE OS PREÇOS DO AÇÚCAR, DO  
ETANOL E DO PETRÓLEO NO BRASIL**

Trabalho Dissertação de  
mestrado submetido para  
avaliação e aprovado pela  
banca examinadora do  
Programa de Pós  
Graduação em Economia  
- PIMES

**Orientador:** Prof. Dr. Ricardo Chaves Lima

Recife  
2009

Melo, André de Souza

Biocombustíveis e culturas alimentares : um estudo da relação de causalidade entre os preços do açúcar, do etanol e do petróleo no Brasil / André de Souza Melo. – Recife : O Autor, 2009.

71 folhas : fig.e tabela.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCSA. Economia, 2009.

Inclui bibliografia, apêndice e anexo.

1. Energia da biomassa – Brasil. 2. Açúcar comércio – Brasil. 3. Álcool – Brasil. 4. Petróleo Derivados – Brasil. I. Título.

338.5  
338

CDU (1997)  
CDD (22.ed.)

UFPE  
CSA2009-045

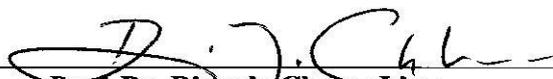
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA  
PIMES/PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO  
MESTRADO EM ECONOMIA DE

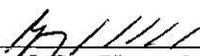
ANDRE DE SOUZA MELO

A Comissão Examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o Candidato André de Souza Melo **APROVADO**.

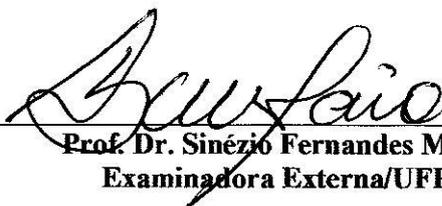
Recife, 05/03/2009.



Prof. Dr. Ricardo Chaves Lima  
Orientador



Prof. Dr. Yony de Sá Barreto Sampaio  
Examinador Interno



Prof. Dr. Sinézio Fernandes Maia  
Examinadora Externa/UFPB

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder a serenidade para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a meus pais pela paciência e apoio nas minhas horas difíceis. Agradeço ao meu orientador e amigo Ricardo Chaves Lima, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho e a Banca Examinadora, em especial o Prof. Yony Sampaio, pela atenção e pelas sugestões dadas ao meu trabalho. Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Economia, que auxiliaram na minha formação. Agradeço a todos meus amigos, em especial o Dr. Leonardo Ferraz Xavier e Amanda Aires Vieira pelo companheirismo em todas as horas. Agradeço aos amigos Marcello Trigueiro, Rodrigo Lemos, Eduardo Serpa (Schumi Moreno), Rogério Sobral, Thiago Maciel, Tereza Gabriela, Maria Isabell, Bruno Wanderley, Marquito Borba e todos meus amigos de Olinda. Agradeço também a Nut Leão pelo companheirismo, pelo carinho e pelo amor dado a mim em todas as horas.

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar o impacto do crescimento do preço de etanol no preço do açúcar. Para tanto, utiliza-se a metodologia de Vetores Autoregressivos para identificar a relação de causalidade entre os preços do etanol e do açúcar. A expansão do etanol no Brasil é resultado de um aumento da demanda internacional pela commodity devido a questões ambientais, econômicas e geopolíticas. É resultado também do crescimento do consumo interno devido à introdução de veículos bicompostíveis na frota brasileira. O aumento da produção de etanol gerou uma competição com a produção do açúcar, que reduziu a disponibilidade da commodity, aumentando, desta forma, o preço de um dos alimentos essenciais na composição da cesta básica. Considerando ainda a grande representatividade da produção brasileira de açúcar no mercado mundial, um inflacionamento no preço dessa commodity devido à nova demanda de biocompostíveis pode resultar no aumento no preço do açúcar no mundo. Como resultado, foi encontrado uma relação de bicausalidade entre os preços do etanol e do açúcar. Entretanto, essa relação de foi de maior intensidade no preço do açúcar sobre o preço do álcool, sugerindo que o mercado de açúcar é consolidado e depende de fatores ligados ao mercado açucareiro. No longo prazo, os preços do açúcar e do álcool sofrem aumento com um choque no preço do petróleo, sugerindo uma dependência das oscilações dessa commodity internacional. Portanto, a criação do novo mercado de biocompostível demonstrou ser um fenômeno recente, e com isso, parece não afetar significativamente o mercado de açúcar.

**Palavras-Chaves:** Biocompostíveis, Preço do Etanol, Preço do Açúcar, Vetores Autoregressivos

## **Abstract**

This work aims to analyze the impact of ethanol price increase on domestic and on international sugar prices. To develop this examination, we apply Vector Autoregression methodology. The Brazilian ethanol expansion is a result of an international demand increase for this commodity, due to environmental, economic and geopolitical issues. It is also a result of the domestic ethanol consumption increase due to introduction of flex vehicles in Brazil in 2003. With this demand intensification for ethanol, a competition arises against the sugar production. This situation represents an impact on sugar production, reducing the availability of this commodity and thus, increasing the price of the one of the most essential food. Besides, Brazil is an important agent of the international sugar market as the country is the world largest sugar exporter. In this sense an increase in the Brazilian sugar price could impact on international sugar price. As a result, a bicausal relation between ethanol and sugar price was found. However, this relation is more intensive from sugar price to ethanol price. It suggests that domestic and international sugar market is more consolidated and depends on its own factors. In the long run, the oil price is the main determinant of the sugar-ethanol market dynamic. Thus, the rise of biofuel market is a recent issue, and does not affect significantly the sugar market.

**Keywords:** Biofuels, Ethanol Price, Sugar Price, Vector Autoregressions

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Produção Mundial de Etanol, 2007 em Milhões de Galões .....	11
Tabela 2 - Custos de Produção dos Principais Países Produtores de Biocombustíveis no ano de 2004 .....	25
Tabela 3 - Participação de Países e Regiões Seleccionadas no Mercado Mundial de Açúcar 2005/2006 .....	34
Tabela 4 - Teste de Raiz Unitária.Para as Variáveis Seleccionadas .....	48
Tabela 5 - Teste de Causalidade de Granger entre o Preço do Etanol, do Açúcar e do Petróleo (5 lags).....	49
Tabela 6 - Decomposição da Variância das Variáveis Seleccionadas .....	51
Tabela 7 - Teste de Causalidade de Granger entre o Preço do Etanol, do Açúcar Internacional e do Petróleo (5 lags).....	54
Tabela 8 - Decomposição da Variância (Modelo com Preço Internacional do Açúcar) .....	56
Tabela 9 - Estimação do Modelo de Vetores Autoregressivos*.....	66
Tabela 10 - Estimação do Modelo de Vetores Autoregressivos – (Modelo com Preço Internacional do açúcar) .....	67
Tabela 11 - Word Ethanol Exports (m <sup>3</sup> ).....	68
Tabela 12 - World Sugar Exports (1000 MT) .....	69

## Lista de Figuras

Figura 1: Evolução do Preço Mensal do Petróleo em US\$ por Barril - Cotação Internacional	14
Figura 2: Principais Países Exportadores de Etanol no Mundo em Milhões de m <sup>3</sup> .....	24
Figura 3: Produção de Álcool Anidro e Álcool Hidratado no Brasil de 98/99 a 07/08 em Toneladas.....	28
Figura 4: Evolução das Vendas de Automóveis <i>Flex</i> em Unidades.....	29
Figura 5: Evolução do Rendimento Industrial da Cana-de-Açúcar (em Kg de ATR) nos Anos de 1976 a 2007.....	30
Figura 6: Oferta de Açúcar em Milhões de t, Oferta de Álcool em Milhões de m <sup>3</sup> e Área Colhida em Milhões de ha. nos Anos de 1976-2007.....	31
Figura 7: Evolução da Demanda de Etanol nos Anos de 1982-2007 em R\$ Milhões .....	31
Figura 8: Evolução da Participação da Produção de Açúcar e Álcool no total de ATR Produzido na Região Centro-Sul – Safras 1990/91 a 2007/08.....	32
Figura 9: Preço do Açúcar “Segue” o Preço do Petróleo acima de US\$ 35/bbl.....	35
Figura 10: Evolução do Índice do Preço da Cana, do Preço do Açúcar, do Preço do Álcool, 1976 a 2007 .....	38
Figura 11: Preço Mensal do Açúcar Nacional e Internacional em R\$/saca de Fevereiro de 1999 a Dezembro de 2007.....	38
Figura 12: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Etanol (LAH) nas Variáveis Preço do Açúcar (LAC) e Preço do Petróleo (LPET) .....	53
Figura 13: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Açúcar nas Demais Variáveis.....	53
Figura 14: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Petróleo nas Demais Variáveis.....	53
Figura 15: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço de Álcool (Modelo com Preço Internacional no Açúcar) .....	57
Figura 16: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço Internacional do Açúcar.....	58
Figura 17: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Petróleo.....	58

## Sumário

1. Introdução.....	9
2. Problemática e Justificativa.....	13
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo Geral.....	17
3.2. Objetivos Específicos.....	17
4. Revisão da Literatura.....	18
4.1. Estudos Sobre os Impactos dos Biocombustíveis no Preço dos Alimentos.....	18
4.2. Biocombustíveis e o Setor Sucroalcooleiro no Brasil.....	23
4.2.1. Do PROÁLCOOL ao Retorno do Programa dos Biocombustíveis.....	25
4.2.2. Dinâmica do Mercado Sucroalcooleiro.....	32
5. Aspectos Metodológicos e Apresentação do Modelo.....	40
5.1. Introdução.....	40
5.2. Modelo.....	43
5.2.1. Vetores Autoregressivos.....	43
5.3. Dados.....	47
6. Resultados e Discussões.....	48
6.1. Impactos dos Mercados de Açúcar e Álcool no Brasil.....	48
6.2. Impactos no Preço Internacional do Açúcar.....	54
7. Conclusões.....	59
Referências.....	61
APÊNDICE.....	66
ANEXO.....	68

## 1. Introdução

A maior parte da energia consumida atualmente no mundo deriva de fontes não renováveis como petróleo, carvão e gás natural. Essas, no entanto, devem se esgotar em datas futuras. Dessa forma, nas últimas décadas, as fontes renováveis de energia de base biológica têm sido consideradas como alternativa à matriz energética convencional.<sup>1</sup> De acordo com Sachs (2005), a utilização intensiva de biomassa para a produção de energia combustível oferece uma oportunidade de geração de emprego e renda aos países tropicais que apresentam, em geral, vantagens comparativas de produtividade mais elevadas. O autor alerta, no entanto, que as áreas de expansão para a produção de biocombustíveis podem concorrer com áreas destinadas à produção de culturas alimentares. Nos Estados Unidos, por exemplo, o crescimento recente da produção de etanol baseado na cultura de milho tem despertado a atenção de analistas sobre os possíveis impactos na oferta e nos preços das culturas alimentares. Elobeid et al. (2006) examinam os impactos de longo prazo da produção de etanol baseado em milho, e concluem que os impactos positivos do aumento no emprego e na renda para os produtores desse cereal e para a indústria de álcool combustível vêm acompanhados de impactos negativos relacionados à elevação de preços de alimentos e matérias-primas que utilizam milho.

Martines-Filho et al (2006) chamam atenção a três lições que devem ser tomadas para os países em desenvolvimento produtores de biocombustíveis. A primeira lição é sobre a complexa tarefa dos países equilibrarem intervenções governamentais com forças de mercado para se desenvolver um sistema industrial compatível com o crescimento da demanda interna e mundial de bioenergia. A segunda pauta sobre a implantação de Pesquisa e Desenvolvimento com o objetivo de baixar os custos de produção e, assim, permitir o crescimento dessa nova indústria. Por fim, a terceira lição é caracterizada pelos desafios para a bioenergia com uma crescente competição com a indústria de alimentos que possuem a mesma matéria-prima dos biocombustíveis. Essa última lição é o foco do nosso estudo, pois, ao que parece, o Brasil tem uma maior maturidade em relação as duas primeiras lições.

O Brasil possui um elevado grau de maturidade nas lições indicadas pelos autores, sendo hoje, o segundo maior produtor mundial de biocombustíveis, com ênfase

---

<sup>1</sup> Ferrari et al. (2005)

em etanol de cana-de-açúcar (Tabela 1). Foi nos anos setenta, quando o governo brasileiro estabeleceu o Programa Nacional de Álcool, conhecido como PROÁLCOOL, que o Brasil se consolidou no mercado mundial de etanol. O programa, no entanto, dependia consideravelmente de suporte do poder público e foi efetivamente desativado nos anos noventa com a liberalização dos preços do álcool hidratado. Atualmente, o governo brasileiro ainda oferece suporte ao setor através de uma combinação de regulação de mercado e incentivos fiscais<sup>2</sup>. Balcombe e Rapsomanikis (2008) afirmam que o PROÁLCOOL encorajou mudanças tecnológicas tanto na conversão de cana-de-açúcar para etanol quanto na fabricação de veículos que podem usar altos níveis de mesclas entre etanol e gasolina. Assim, melhora-se a eficiência, o preço da cana se torna mais baixo; resultando, então, em custos que são menores do que os custos de oferta regional da gasolina em termos de volume. Da mesma forma, a política de incentivos para biocombustíveis estabelece regime fiscal diferenciado de compra e venda de reservas estratégicas de álcool combustíveis (OECD, 2006). De acordo com Von Lampe (2006), o Brasil é o país mais competitivo com relação a custo de produção de álcool combustível. O estudo afirma que o país seria o único capaz de produzir etanol eficientemente mesmo que o preço do barril de petróleo caísse a U\$ 39,00.

Essa vantagem comparativa do setor de álcool combustível no Brasil, bem como a necessidade da substituição dos combustíveis fósseis, tem estimulado os agentes econômicos a investirem na produção de etanol nos últimos anos. Apesar das usinas brasileiras produzirem conjuntamente açúcar e álcool, no ano de 2006, 12 das 19 novas usinas abertas no país produziram apenas etanol (Tokgoz e Elobeid, 2006). Com isso, a expansão de álcool combustível em resposta à alta demanda por biocombustíveis tem refletido no aumento do preço do açúcar, produto substituto de mesma matéria-prima do álcool, o qual cresceu 23% de dezembro de 2007 a março de 2008, sendo o segundo produto responsável pela alta do preço de alimentos no mundo (Carvalho, 2008). O alto preço de açúcar é também atrativo para o produtor brasileiro, pois o Brasil é um dos maiores produtores de açúcar no mundo. Isso faz surgir um *trade off* entre cultivar a cana-de-açúcar para açúcar e produzir etanol (Müller et al 2007).

---

<sup>2</sup> O instrumento de política utilizado pelo governo no setor é a mistura obrigatória entre 20% a 25% de álcool anidro na gasolina.

Tabela 1 - Produção Mundial de Etanol, 2007 em Milhões de Galões

<b>País/Região</b>	<b>Produção</b>
<b>Estados Unidos</b>	6498,6
<b>Brasil</b>	5019,2
<b>União Européia</b>	570,3
<b>China</b>	486,0
<b>Canadá</b>	211,3
<b>Tailândia</b>	79,2
<b>Colômbia</b>	74,9
<b>Índia</b>	52,8
<b>América Central</b>	39,6
<b>Austrália</b>	26,4
<b>Turquia</b>	15,8
<b>Paquistão</b>	9,2
<b>Peru</b>	7,9
<b>Argentina</b>	5,2
<b>Paraguai</b>	4,7
<b>Total</b>	13.1701,70

Fonte: RFA Outlook 2008; F.O Licht in Diniz (2008)

A expansão do etanol e a atratividade da produção de açúcar com relação ao preço fazem com que mais áreas plantadas sejam destinadas à cultura da cana-de-açúcar, e o crescimento dessa área pode afetar outras culturas alimentares, aumentando o preço dos grãos. Segundo dados do Ministério da Agricultura, em 2008, a área plantada com cana-de-açúcar cresceu 46% de 2000 a 2006, superando 7 milhões de hectares. Goes et al (2008), entretanto, afirmam que a cultura da cana-de-açúcar ocupa apenas 2,34% da área com produção agrícola, 1,70% da área agricultável e 0,78% da área total do Brasil. Cunha (2008), todavia, defende que, embora a cana ocupe pequenas áreas de terra agricultáveis, existe uma alta concentração em algumas regiões, como no estado de São Paulo, responsável por aproximadamente 60% da área plantada em todo

território nacional. Portanto, segundo o autor, a expansão da área de plantio voltada para a produção de biocombustível implica em mudanças na produção de alimentos, causando uma maior pressão sobre os preços das commodities alimentares.

Além disso, Müller et al (2007) e Schmidhuber (2007) afirmam que o Brasil, por ser o maior exportador mundial de açúcar, influencia o preço internacional dessa commodity. Com a expansão da demanda por etanol no país, menos açúcar é produzido para exportar, aumentando assim o preço do açúcar no mundo. Com isso, a transmissão de preço do mercado energético para o mercado agrícola acontece através de dois canais: o primeiro explica o lado direto da própria relação entre o preço do etanol e do açúcar no lado da oferta. Quanto maior o preço da energia (álcool) maior será a competição do mercado energético, que exige uma maior quantidade de cana-de-açúcar, aumentando, desta forma, o preço da matéria prima e, por conseguinte, o preço do açúcar. A competição se enfraquece novamente quando a demanda aumentar o preço do açúcar até um ponto no qual o custo de oportunidade de produzir a matéria-prima agrícola para o mercado energético se torna muito alto. O segundo canal explica uma transmissão indireta de preços através de substitutos no lado da oferta. Quanto maior o preço de um dado produto (ex. açúcar) será criada uma competição com outras culturas agrícolas, reduzindo a disponibilidade desses produtos nos mercados, provocando um aumento geral nos preços.

Desta forma, o objetivo presente trabalho é estudar a dinâmica do mercado sucroalcooleiro, com foco na relação entre o preço do etanol e do açúcar. Analisam-se, ainda, os possíveis impactos da expansão da demanda por etanol no aumento dos preços nacionais e internacionais do açúcar.

Esta dissertação está subdividida em seis partes, além da presente introdução. A próxima seção trata da problemática e justificativa do trabalho. Em seguida, apresentam-se os objetivos do trabalho. A quarta parte explora a literatura recente sobre biocombustíveis, bem como uma descrição sobre o mercado sucroalcooleiro. A quinta seção discute os modelos estudados sobre biocombustíveis, e aborda a modelagem de vetores autoregressivos, citando a origem dos dados. Logo após, são apresentados os resultados e as discussões. Finalmente, algumas considerações são feitas à guisa de conclusão.

## 2. Problemática e Justificativa

A elevação nos preços dos combustíveis fósseis nos últimos anos, bem como as preocupações ambientais com relação às emissões de gases poluentes e aquecimento global, têm despertado o interesse dos países desenvolvidos e em desenvolvimento em buscar fontes alternativas de combustíveis, como biodiesel e etanol. Segundo a FAO (2008), o uso de tecnologias e políticas direcionadas para produção de biocombustíveis contribui com o aumento dos preços das commodities agrícolas e pode ter impactos negativos na segurança alimentar, pois, de acordo com a entidade, o mercado crescente de biocombustível representa uma nova fonte de demanda por essas commodities e pode reverter a tendência de queda dos preços reais das commodities alimentares. Mitchell (2008) afirma que 65% do aumento dos preços dos alimentos é consequência do aumento da demanda por biocombustíveis. Carvalho (2008) também destaca que é crescente a crise dos alimentos nos países, e que hoje esse problema afeta 37 países, dos quais 21 estão na África, 10 na Ásia, 5 na América Latina (Bolívia, República Dominicana, Haiti, Nicarágua) e 1 na Europa.

A motivação econômica para a produção de biocombustíveis é estabelecida pelo baixo custo e pela conveniência oriunda da produção doméstica, substituindo o petróleo, fonte de energia combustível cujo preço atingiu patamares acima dos US\$ 100 e depende das incertezas de regiões voláteis politicamente (Figura 1). A demanda crescente por agricultura dos biocombustíveis pode resolver o problema mundial dos países agrícolas pobres. Porém, os efeitos negativos sobre os alimentos estão ameaçando os efeitos positivos. Para Rajagopal e Zilberman (2007) esse fato não é surpreendente, pois biocombustíveis são intensivos em uso de insumos como terra, água, energia fóssil, os quais estão associados a um custo de oportunidade. Entender como os biocombustíveis irão afetar as alocações de recursos, energia e preço dos alimentos, implantação de tecnologias e distribuição de renda, é essencial nesse estágio inicial de desenvolvimento.

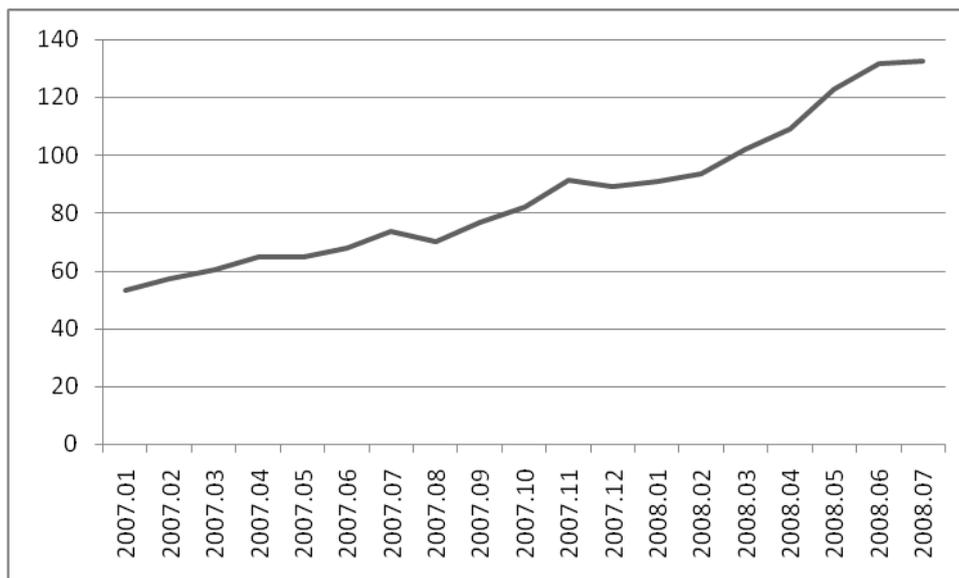


Figura 1: Evolução do Preço Mensal do Petróleo em US\$ por Barril - Cotação Internacional

Fonte: IPEADATA

Babcock (2008) e Rajagopal e Zilberman (2007) também defendem que o aumento da produção de biocombustíveis nos últimos anos causou a alta do preço dos alimentos. Isso acontece, segundo os autores, pois os biocombustíveis são produzidos por matérias-primas que poderiam ser usadas na produção de alimentos ou devido ao cultivo de terras que poderiam produzir outras commodities alimentares. Eles ainda afirmam que existem algumas discordâncias sobre a magnitude do efeito do biocombustível no preço dos alimentos, mas não há discordâncias sobre a existência desse impacto. O tamanho do impacto será determinado pelo nível de preço do petróleo e o grau de crescimento da produção de biocombustível devido ao incentivo de políticas públicas.

Tat Tan et al. (2008) também caracterizam os biocombustíveis como a melhor alternativa para a substituição dos combustíveis fósseis. Como os biocombustíveis são derivados de fontes de alimentos (também conhecidos como biocombustíveis de primeira geração), as plantações de matérias-primas podem absorver o carbono da atmosfera, reduzir as emissões de dióxido de carbono, reduzindo assim o aquecimento global e a poluição ambiental. Porém, os autores dizem que os biocombustíveis de primeira geração são alvo de críticas. Uma delas é a disputa alimento-combustível como cultura agrícola de mesma matéria-prima tais como o milho e a cana-de-açúcar, que são fontes de bioetanol nos Estados Unidos e na América do Sul, respectivamente, e são usados para produzir alimentos como bens de consumo. Com o crescimento da demanda

por esses produtos agrícolas para a produção de biocombustíveis, surge o temor de que isso irá causar um grande aumento no preço dos alimentos essenciais.

Peters e Thielmann (2007) afirmam que nos próximos anos a produção de biocombustíveis crescerá substancialmente. Esse efeito é resultado do crescimento da produção e do consumo de etanol nos cinco principais países que comercializam essa commodity: Estados Unidos, Brasil, Índia, União Européia e China. A expansão do etanol nesses países tem um efeito significativo na alocação de terras, o qual se propaga globalmente através dos efeitos de comércio mundial e preços, induzindo a uma realocação de terra daquelas culturas que sofrem queda nos preços relativos para culturas que tem os preços relativos maiores. Como a competição por terras é intensificada, o uso agregado de áreas para plantio também crescerá (Fabiosa et al, 2008).

Alguns países claramente possuem condições naturais adequadas para produzirem energia advinda de commodities alimentares, enquanto outros países possuem mais dificuldades (FAO, 2008). O Brasil é o maior exportador e maior consumidor de etanol de cana-de-açúcar do mundo, possuindo, mesmo sem a implantação de subsídios, um alto grau de competitividade com os combustíveis fósseis (Cabrini e Marjotta-Maistro, 2007). Isso é resultado do PROÁLCOOL, o qual significou um ganho de produtividade na atividade sucroalcooleira no Brasil e é referência para o programa de biocombustíveis para outros países. Müller et al (2007), Fabiosa et al (2008) e Balcombe Rapsomanikis (2008) afirmam que a indústria brasileira sucroalcooleira é formada por um grande número de grandes empresas caracterizadas pela produção dual, permitindo a produção de etanol e açúcar em proporções variáveis, contribuindo para o aparecimento de um *trade off* entre açúcar e etanol. Ou seja, enquanto o custo de produção de etanol está menor que o preço da gasolina, e o valor do produto marginal da cana-de-açúcar no mercado de biocombustíveis excede o do mercado de alimentos, a cana-de-açúcar será desviada para a produção de etanol, assim aumentando o custo marginal do açúcar (Balcombe e Rapsomanikis, 2008). Além disso, os estudos de Smeets et al (2008) identificaram como principal gargalo para a expansão sustentável dos biocombustíveis no Brasil, a competição da cana-de-açúcar para o etanol com a produção de alimentos.

Carvalho (2008) afirma que o açúcar foi o segundo maior produto responsável pela alta do índice de preço dos alimentos no mundo, com alta de 23 %, perdendo

apenas para os cereais, com 27%. Ressaltando, assim a importância do açúcar como alimento essencial e como matéria-prima para bens finais. Schmidhuber (2007) conclui também que a grande utilização de cana-de-açúcar para a produção de etanol, em face da alta do preço do petróleo, reduz a disponibilidade de açúcar para exportação e para o mercado interno elevando os preços desses mercados. Então, isso resulta em uma relação forte entre os preços do etanol, do petróleo e do açúcar, ou seja, que o preço do açúcar segue fortemente o preço do petróleo.

Existem dois tipos de biocombustíveis representando o volume total de combustíveis renováveis: etanol e biodiesel. Nosso estudo se concentrará na análise do mercado de etanol. Pois, segundo Fabiosa et al (2008), o biodiesel ainda não é um mercado lucrativo e seu crescimento de produção é menor do que o crescimento do etanol.

Desta forma, colocam-se em relevo questões importantes de pesquisa, na medida em que se desenvolve um mercado para uma nova commodity energética internacional, cuja produção está tecnologicamente ligada à outra commodity não-energética, o açúcar. A possibilidade do uso de cana-de-açúcar para produção de etanol e o peso que este vem adquirindo como substituto da gasolina no mercado mundial nos leva a pensar que existe uma nova tendência: o fortalecimento de uma relação no mercado entre os preços do açúcar e do álcool (Silva e Almeida, 2006) e seus possíveis impactos na segurança alimentar. Portanto, é de grande importância analisar a dinâmica do mercado sucroalcooleiro do Brasil, no qual o país possui grande representatividade no mercado externo, e os efeitos sobre a expansão desse mercado na cultura alimentar do açúcar no Brasil e no mundo. Ou seja, o Brasil pode expandir a produção de etanol sem prejudicar a produção de açúcar?

## **3. Objetivos**

### ***3.1. Objetivo Geral***

Analisar os impactos do aumento do preço do etanol, nos preços nacional e internacional do açúcar.

### ***3.2. Objetivos Específicos***

- Discutir o crescimento do mercado biocombustíveis no Brasil;
- Caracterizar o mercado sucroalcooleiro no Brasil e analisar como a produção de etanol pode influenciar a produção de açúcar;
- Estimar um modelo multivariado que possibilite identificar a relação de causalidade entre a expansão do mercado de biocombustíveis e o preço das culturas alimentares, representados pelo preço nacional e internacional do açúcar.

## **4. Revisão da Literatura**

### ***4.1. Estudos Sobre os Impactos dos Biocombustíveis no Preço dos Alimentos***

O uso de fontes renováveis para a produção energética pode ser explicado por diversos fatores: ecológicos, econômicos e geopolíticos. Os ecológicos surgem devido a um aumento na emissão de gases tóxicos com o crescente uso de combustível fóssil e ao fato de muitos países considerarem biocombustíveis como a melhor alternativa para redução da emissão de gases poluentes. Os econômicos originam-se da crescente alta dos preços do petróleo e a finita oferta de combustíveis fósseis, criando então, incentivos para o uso de fontes alternativas e de pesquisas nessa área. Já os fatores geopolíticos são oriundos da dependência de regiões que ofertam petróleo e que passam por momentos de risco iminente de guerras. Com essa preocupação, o uso de biocombustíveis é pauta de políticas governamentais na maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Além desses fatores, o consumo e o comércio de biocombustíveis podem também ser influenciados pela sustentabilidade da cadeia produtiva e por outros fatores socioeconômicos. Entre esses fatores inclui-se a possibilidade da produção de biocombustível, das importações e exportações terem um impacto negativo na produção de alimentos nos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Von Lampe, 2006, Elobeid, 2006).

Segundo Mitchel (2008), 65% do aumento do preço dos alimentos são causados por biocombustíveis e fatores relacionados ao rápido crescimento da demanda por commodities não energéticas usadas para a produção de fontes renováveis de combustíveis. O FMI (2006) também afirma que o aumento da produção de biocombustível, principalmente devido às políticas bioenergéticas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, é responsável por uma significativa parcela do aumento dos preços das commodities.

Muitos estudos têm focado na questão dos impactos do crescimento da produção de biocombustíveis no preço dos alimentos das economias produtoras de etanol e biodiesel. Von Lampe (2006), por exemplo, afirma que os altos preços do barril de petróleo resultam em aumento dos preços de commodities alimentares através de altos custos de produção e incentivos para produzir biocombustível. O mercado de

commodities agrícolas é também um importante determinante na dinâmica do mercado de biocombustíveis. Com essa motivação, Tokgoz e Elobeid (2006) buscaram entender a relação entre os mercados de etanol, cana-de-açúcar e milho. Os autores revelam que existe competição entre o setor de etanol e os outros setores que utilizam a mesma matéria-prima, de modo que a lucratividade relativa desses setores irá determinar as tendências de longo prazo no setor agrícola.

No caso europeu, Ignaciuk et al. (2004) afirmam que, desde a Segunda Guerra Mundial, as políticas agrícolas na Europa eram direcionadas para o fornecimento de alimentos suficientes para a população. Essas políticas obtiveram sucesso, como é evidenciado pela superprodução de alimentos no continente. Entretanto, os autores alertam que um crescente mercado de bioenergia pode afetar o uso atual de terras na Europa. O implemento de políticas que visam a redução das emissões de poluentes pode aumentar substancialmente a demanda por bioenergia. Como a terra é escassa para produção adicional na Europa, a competição por terras pode elevar os preços das commodities agrícolas e/ou uma significativa redução na produção de alimentos.

Dong (2007) defende a idéia que os países em desenvolvimento devem considerar o problema do impacto da expansão dos biocombustíveis nas commodities alimentares. Segundo ele, quanto mais grãos de alimentos forem usados para produzir biocombustível, mais terra será alocada para a matéria prima do biocombustível, maior será o preço dos grãos. Ademais, esses aumentos de preços também fazem crescer o custo alimentar do setor pecuário. Conseqüentemente, preços dos alimentos aparentemente não relacionados aos biocombustíveis são afetados. Ele faz um estudo de caso para a China, motivado pela competição entre alimento e combustível naquele país e agravado pela baixa disponibilidade de terra cultivada per capita.

Sobre o mercado americano de etanol, Figueira e Burnquist (2006) efetuaram projeções do consumo americano de gasolina e, assim, projetam alguns cenários para o consumo de etanol até 2012, ano que é referencia para o programa americano de combustíveis renováveis. Os resultados mostram que a produção de etanol de milho vai atingir, em 2012, 28 bilhões de litros. Porém, os autores afirmam que o programa de etanol americano não se mostra promissor em termos de mercado consumidor para o etanol produzido no Brasil, pois as exportações realizadas diretamente para os EUA necessitam pagar tarifas de US\$0,54 por galão.

Elobeid e Tokgoz (2006) analisam o impacto da liberalização de comércio e remoção de impostos federais americanos para o etanol nos mercados de etanol americano e brasileiro. A remoção das distorções de comércio induz a um aumento do preço do etanol mundial e distorce o mercado de etanol americano. O preço deste último diminui resultando em um significativo declínio na produção e um aumento no consumo com maiores importações. O Brasil responde com maior preço do etanol e um crescimento da produção. O consumo total do Brasil diminui e as exportações aumentam.

Zhang et al (2007) também afirmam que sem o auxílio do governo, os produtores de etanol de milho americano podem encontrar dificuldades em competir em termos de preço com o etanol de cana-de-açúcar, que é mais barato e produzido em larga escala no Brasil. Os autores também estimam os impactos da competição entre o etanol de milho americano com o aditivo de combustível chamado MTBE (Methyl-Tertiary-Butyl Ether) nos preços e na demanda do etanol nos EUA. Como resultado, foi encontrado que os mercados do etanol e do MTBE são afetados em maior escala por diferentes choques de variáveis exógenas, embora estes aditivos sejam substitutos próximos.

Tokgoz e Elobeid (2006) analisam o impacto de choques de preço em três mercados relacionados ao etanol: gasolina, milho e açúcar. Eles investigam o impacto destes choques no etanol relacionado aos mercados agrícolas nos Estados Unidos e no Brasil. Como resultado, a composição da frota de veículos (o fato de ser bi-combustível ou não) determina o consumo do etanol e o preço da gasolina. Foi encontrado no estudo também que mudanças nos custos dos insumos afetam a rentabilidade dos produtores de etanol e o preço doméstico do biocombustível.

Fabiosa et al (2008), estudam os impactos do crescimento do etanol na alocação de terras para outras culturas alimentares nos Estados Unidos e no Brasil. Como resultado a expansão americana tem fortes efeitos globais na alocação de terras e em preços dos grãos (milho) cujos efeitos são transmitidos mundialmente. Os autores afirmam que mudanças no preço dos grãos americanos também afetam os preços do trigo e das oleaginosas. Em contraste, uma expansão do etanol brasileiro, afeta principalmente o mercado mundial de etanol e a terra usada para produção de cana-de-açúcar no Brasil. O efeito dessa expansão afeta outros países produtores de açúcar, porém numa menor medida em relação à expansão do etanol americano. Entretanto, a

expansão brasileira de etanol tem um pequeno impacto no uso de terra para outras culturas. A cana-de-açúcar compete menos com outras culturas no Brasil do que o milho com outras culturas norte-americanas.

Banse et al (2008) avaliam as implicações da Diretiva dos Biocombustíveis na União Européia, utilizando a ferramenta de equilíbrio geral computável e considerando a oferta de terra endógena. Os resultados mostram que, quando não há intervenção de políticas que estimulem o uso de culturas para o biocombustíveis, as metas do programa não são cumpridas. Com o programa, a demanda por culturas dos biocombustíveis tem um forte impacto na agricultura mundial, acarretando em um aumento no uso da terra, revertendo a tendência de longo prazo de queda dos preços reais das commodities agrícolas.

Balcombe e Rapsomanikis (2008) examinam a relação de equilíbrio de longo prazo entre os preços do açúcar, álcool e petróleo no Brasil, desenvolvendo vetores de correção de erro bivariável generalizado que permitem identificar a cointegração entre os preços de açúcar, etanol e petróleo. Como principal resultado, os preços de petróleo determinam o equilíbrio de longo prazo dos preços de etanol e açúcar. Foi encontrado também que os preços de açúcar causam no sentido de Granger os preços de etanol, mas não o contrário. Isto sugere uma hierarquia causal de petróleo para açúcar e do açúcar para o etanol, mais do que a ordem petróleo para etanol e açúcar.

Quanto à questão do efeito da competição com outras culturas no Brasil, Camargo et al. (2008) alertam que existe uma preocupação acerca da rápida expansão da cana-de-açúcar. Alguns estudiosos avaliam que o crescimento vai prejudicar a produção de alimentos. Também há entre pesquisadores a tese de que há terras disponíveis no Brasil para o cultivo da cana-de-açúcar sem que se comprometa a produção de alimentos. Com isso eles estudaram a expansão canavieira no Estado de São Paulo de 2001 a 2006. Como resultado, as culturas que mais cederam área para o cultivo da cana-de-açúcar foram o milho, com 129.761 ha, e feijão com 38.584 ha.

Souza et al. (2007) estudaram a variação relativa das área de soja, cana-de-açúcar e milho em face da expansão canavieira. Eles ressaltam a importância desse exercício, pois no atual contexto brasileiro há mudanças no perfil agrário do país, admitindo-se que a cana-de-açúcar substituirá lavouras que estão na base da alimentação dos consumidores, dado a demanda mundial por biocombustíveis. Eles conjecturam que os cultivos de soja, de milho e de pastagem estejam sendo substituídos

pelo cultivo da cana-de-açúcar. Porém, em seu estudo, o resultado foi que a soja substituiu várias lavouras, inclusive a cana-de-açúcar.

Em sentido mais amplo, Costa et al (2006) estimaram o impacto do aumento das exportações brasileiras de açúcar e álcool sobre os níveis de produção e emprego no país utilizando a matriz de insumo produto inter-regional da economia brasileira. Como resultado, observou-se que um choque de demanda, resultante de uma expansão da exportação de açúcar, apresenta um maior impacto sobre o produto e o emprego do país, comparado ao derivado de um incremento nas exportações de álcool. A análise regional mostrou, segundo os autores, que o impacto de um choque da demanda, tanto do aumento das exportações de álcool como de açúcar, é mais expressivo na região Norte-Nordeste do que a Centro-Sul para geração de empregos e aumento do produto. Esses resultados são importantes para subsidiar a identificação de políticas e o estabelecimento de metas para incentivar um produto ou região, considerando-se a propagação dos benefícios econômicos.

Silva e Almeida (2006) analisaram a trajetória entre o preço do etanol, do açúcar e do petróleo no mercado internacional. Os movimentos dos preços de petróleo e etanol tendem a causar uma elevação do preço do açúcar no mercado internacional. Então, eles estudaram a relação de causalidade de Granger entre os preços do petróleo, do etanol e do açúcar internacional. Dessa forma, o estudo aponta na direção de uma forte ligação dos mercados de açúcar e petróleo que passam pela participação da produção de etanol derivada do açúcar. Nesse sentido, o Brasil tem um papel importante pela sua importância nos mercados internacionais de açúcar e etanol.

Na literatura sobre o impacto da expansão dos biocombustíveis sobre o preço dos alimentos é sugerido a substituição de commodities alimentares por culturas não alimentares que sirvam de matéria-prima para biocombustível. Já existe em algumas economias a produção do etanol de celulose, bem como estudos que analisam a viabilidade do novo biocombustível que é chamado de combustível de segunda geração. Como exemplo, Epplin et al (2007) estudam a potencialidade do etanol oriundo de gramíneas nos Estados Unidos e concluem que a produção de etanol de celulose mostra-se bastante promissora desde que haja políticas que encorajem a produção desse novo biocombustível. Outro estudo que analisou a viabilidade do etanol de celulose foi Tat Tan et al (2008) o qual defende que a produção dos biocombustíveis de segunda geração reduz a intensificação da agricultura para os combustíveis de primeira geração, onde

culturas importantes como cana e milho são usadas como matéria-prima. Conseqüentemente, segundo eles, a disputa alimento combustível não existirá e, com biomassa acessível economicamente, o preço do etanol de celulose pode se tornar competitivo com a gasolina. Porém, os trabalhos apontam alguns obstáculos para produção de etanol de celulose como custos, tecnologia e questões ambientais que necessitam ser solucionados.

É notório que nos trabalhos citados existe uma preocupação sobre a expansão dos biocombustíveis no preço dos alimentos, na alocação de terras destinadas para o plantio de outras culturas alimentares, bem como na relação entre os preços de açúcar e álcool em face aos altos preços de petróleo. O Brasil, como um dos principais produtores de biocombustíveis, tem um papel importante nessa dinâmica. Segundo Rajagopal e Zilberman (2007) existem muitas lacunas no entendimento dos impactos econômicos dos biocombustíveis que precisam ser estudados em pesquisas futuras. A literatura é muito escassa para os países em desenvolvimento como o Brasil, onde a oferta de biocombustíveis, a demanda por energia e commodities agrícolas são diferentes em relação aos países desenvolvidos. Portanto, nas seções subseqüentes estuda-se o mercado sucroalcooleiro no Brasil e como o crescimento da demanda dos biocombustíveis pode afetar o preço do açúcar no mercado nacional e internacional.

#### ***4.2. Biocombustíveis e o Setor Sucroalcooleiro no Brasil***

De acordo com a FAO (2005), a produção mundial de etanol vem crescendo sensivelmente desde o grande choque do petróleo na década de 70. O Brasil é considerado um agente importante no mercado dessa commodity, sendo o maior exportador mundial, responsável, em 2007, por 45% das exportações mundiais (Figura 2), seguido pela União Européia e pelos Estados Unidos<sup>3</sup>. A justificativa para a grande participação do etanol brasileiro no mercado mundial está na vantagem comparativa da produção da principal matéria-prima: a cana-de-açúcar. Balcombe e Rapsomanikis (2008) e Moreira e Goldemberg (1999), afirmam que o PROÁLCOOL estimulou o melhoramento tecnológico na conversão de cana-de-açúcar para o etanol. Segundo Von Lampe (2006), o etanol da cana-de-açúcar brasileira possui menor custo de produção<sup>4</sup> quando comparado com as commodities de outros países produtores de etanol. Segundo

---

<sup>3</sup> As exportações de etanol e açúcar em todos os países estão disponíveis no apêndice do trabalho.

<sup>4</sup> O valor da matéria-prima representa uma importante parcela do custo de produção total do etanol. (Von Lampe, 2006, Tokgoz e Elobeid, 2006)

dados do autor, o custo do etanol da cana é de US\$ 0,219 por litro de combustível, enquanto o etanol norte-americano oriundo do milho possui custo de US\$ 0,289 por litro<sup>5</sup>. Ademais, o autor afirma que o país seria o único capaz de produzir etanol de forma viável mesmo que o preço do barril de petróleo caísse para US\$ 39,00. A Tabela 2 mostra os custos de produção dos biocombustíveis dos principais países produtores.

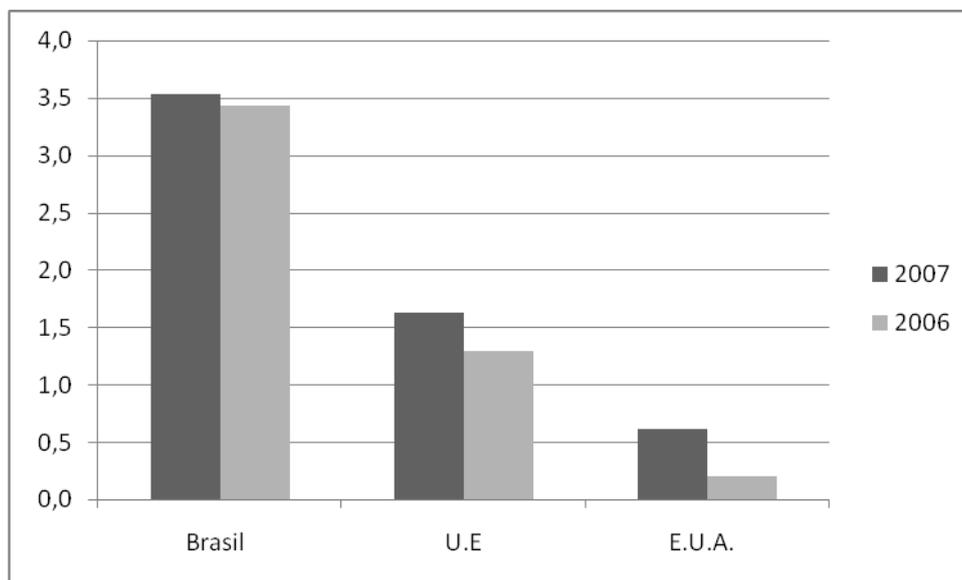


Figura 2: Principais Países Exportadores de Etanol no Mundo em Milhões de m<sup>3</sup>  
Fonte: Datagro

Balcombe e Rapsomanikis (2008), no entanto afirmam que quando os preços de etanol e de gasolina são convertidos em preços por unidade de energia, o custo de produção do etanol é maior do que a gasolina. Contudo, a recente elevação no preço do petróleo tem tornado o etanol mais competitivo em relação à gasolina, mesmo em termos de energia (Hamelinck e Faaij, 2006). Com o preço de petróleo atingindo cerca de 60 a 70 dólares por barril desde 2005, a demanda por etanol tem crescido consideravelmente, aumentando o preço no Brasil em 60% entre 2005 e 2006<sup>6</sup>. Para entender melhor como o Brasil chegou a essa vantagem comparativa na produção de etanol de cana-de-açúcar, faz-se uma breve discussão da história do PROÁLCOOL, programa de incentivo ao biocombustível de exemplo mundial, até o novo programa de biocombustíveis; representado pela introdução dos veículos *flex*.

<sup>5</sup> Em 2006, o preço real do etanol é um terço menor do que o preço em 1975 (Martines-Filho et al (2006).

<sup>6</sup> Maiores detalhes na seção 4.2.1.

Tabela 2 - Custos de Produção dos Principais Países Produtores de Biocombustíveis no ano de 2004

Custo de Produção dos Biocombustíveis em US\$/l	Etanol de				Biodiesel de Óleo Vegetal
	Trigo	Milho	Cana-de-açúcar	Beterraba	
<b>Estados Unidos</b>	0,545	0,289	-	-	0.549
<b>Canadá</b>	0,563	0,335	-	-	0.455
<b>União Européia - 15</b>	0,573	0,448	-	0,560	0.607
<b>Polônia</b>	0,530	0,337	-	0,546	0.725
<b>Brasil</b>	-	-	0,219	-	0.568

Fonte: Von Lampe, 2006 baseado em dados da OCDE

#### 4.2.1. Do PROÁLCOOL ao Retorno do Programa dos Biocombustíveis

A produção de etanol no Brasil tem início na década de 30, com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) e de uma legislação que permitia a mistura do etanol na gasolina. Na década de 70, a grande alta do preço do petróleo foi o principal motivo para a condução de um novo programa federal de incentivo à produção de etanol, mais conhecido como PROÁLCOOL. Alguns trabalhos relatam o histórico desse programa como Moreira e Goldemberg (1999), Bake et al (2008) e Rosillo-Calle e Cortez (1998). O programa é dividido em quatro fases: criação e estabelecimento (1975-1979), consolidação (1979-1985), expansão e restrição (1985-1989), incertezas políticas (1990-1994).

Na primeira fase, quatro instrumentos de políticas foram aplicados: baixa taxa de juros de empréstimo para a construção de destilarias; garantia de compra do etanol com preços fixos; regulação de preços e quotas de produção de etanol; quota de produção de açúcar e controle das exportações. Com isso, os produtores expandiram as destilarias para suprir a demanda criada com a fabricação de carros movidos a etanol e mistura de álcool e gasolina. A fase foi marcada pelo difícil relacionamento entre o governo e as

multinacionais automobilísticas no país, mas, graças à determinação do governo, as primeiras linhas de carros movidos a álcool foram fabricadas no Brasil (Rosillo-Calle e Cortez, 1998).

Na segunda fase, foi criado o Conselho Nacional do Álcool (CNAL) e a Comissão Executiva Nacional (CENAL). Esses órgãos foram responsáveis pela supervisão das metas da produção de etanol. Moreira e Goldemberg (1999) e Balcombe e Rapsomanikis (2008) afirmam que, embora a área de plantação de cana-de-açúcar tenha crescido, houve também um aumento da produtividade. Assim, essa fase foi caracterizada pela grande intervenção do governo, altos preços de petróleo, instalações de destilarias autônomas, permitindo produção de etanol hidratado em larga escala.

Já a terceira fase foi marcada pela hiperinflação no plano econômico e pelo processo de democratização no plano político. Nessa fase, o período de baixo preço do petróleo e, assim, os problemas com a oferta energética receberam menor prioridade (Rosillo-Calle e Cortez, 1998). Com o fim da ditadura militar, os subsídios e investimentos foram cortados. A credibilidade do PROÁLCOOL ainda era inquestionável, pois quase 95% da frota de veículos era movida a álcool. Porém, uma tendência de queda da demanda de etanol ocorreu devido à produção estagnada de etanol. A estagnação da produção dessa commodity é resultado dos preços baixos do etanol pagos aos produtores e os altos preços do açúcar. Os fatores que contribuíram para a queda do preço do etanol, segundo Goldemberg et al (2004a), foram o progresso tecnológico e economias de escala.

A última fase se caracterizou pelos incentivos do governo em reviver os modelos de carros populares. Em 1991, a produção aumentou de quase 700 mil para 1,4 milhões de carros por ano. Porém, os maiores beneficiários foram os veículos populares que são abastecidos com gasolina misturada ao etanol e não os carros abastecidos com álcool hidratado, embora esses últimos tenham sofrido avanços tecnológicos consideráveis. Em 1994, o Plano Real foi lançado com o objetivo de estabilizar a economia e reduzir a inflação. O controle de inflação se tornou a política chave nessa época. A política do governo federal era forçar a indústria de etanol e açúcar a cortarem custos através de ganhos de produtividade.

Sem dúvida o PROÁLCOOL resultou numa melhoria, em termos de produtividade e produção, para o setor sucroalcooleiro e é considerado o mais importante programa de energia de biomassa do mundo (Goldemberg et al, 2004b).

Segundo ele, no ano de 1975, a produção de cana-de-açúcar foi de 91 milhões t, com 6 milhões t para o açúcar e 555 m<sup>3</sup> de etanol. Em 2002, a produção de cana-de-açúcar alcançou 320 milhões t, com 22,3 milhões t para açúcar e 12,6 milhões m<sup>3</sup> para o etanol. De fato, a tecnologia cresceu a olhos vistos. A razão de progresso tecnológico<sup>7</sup> mudou de 92% no período 1980-1985 para 75% em 1985-2002.

Desde a criação do PROÁLCOOL até 1997, o preço recebido pelo produtor de etanol era determinado pelo governo federal. Entretanto, em maio de 1997, o preço do álcool anidro foi liberalizado, ocorrendo o mesmo com o álcool hidratado, em fevereiro de 1999. A Figura 3 ilustra a produção de álcool anidro (componente da gasolina) e a produção de etanol, após a desregulamentação do setor. Na Figura, pode-se notar que após a desregulamentação, principalmente a partir do ano de 2003/04, quando foram introduzidos os veículos bicombustíveis na frota brasileira, a produção de etanol cresceu a taxas maiores do que a produção do álcool anidro, devido à competição com a gasolina. Assim, o álcool hidratado será alvo do nosso estudo.

Ademais, o novo contexto de mercados desregulamentados afetou principalmente a forma de comercialização e os preços dos principais produtos finais – o açúcar e o álcool, e da cana-de-açúcar, matéria-prima básica do setor. A avaliação dessas adequações pode ser feita pela observação de mudanças no *mix* de produção de açúcar e álcool, decorrente de alterações nos preços relativos desses produtos, à medida que eles deixaram de ser estabelecidos pelo governo e passaram a ser determinados sob condições de mercado competitivo (Moraes, 2000).

---

<sup>7</sup> A razão de progresso tecnológico é definido pela velocidade de aprendizado (ex., quanto o custo declina quando se tem o dobro da capacidade). Goldemberg et al, (2004a) dizem que a razão de progresso tecnológico é a variação dos preços de acordo com as vendas acumulativas. Uma menor razão de progresso, maior a queda nos preços. Assim, uma penetração tecnológica eficiente é aquela que apresenta baixa razão de progresso.

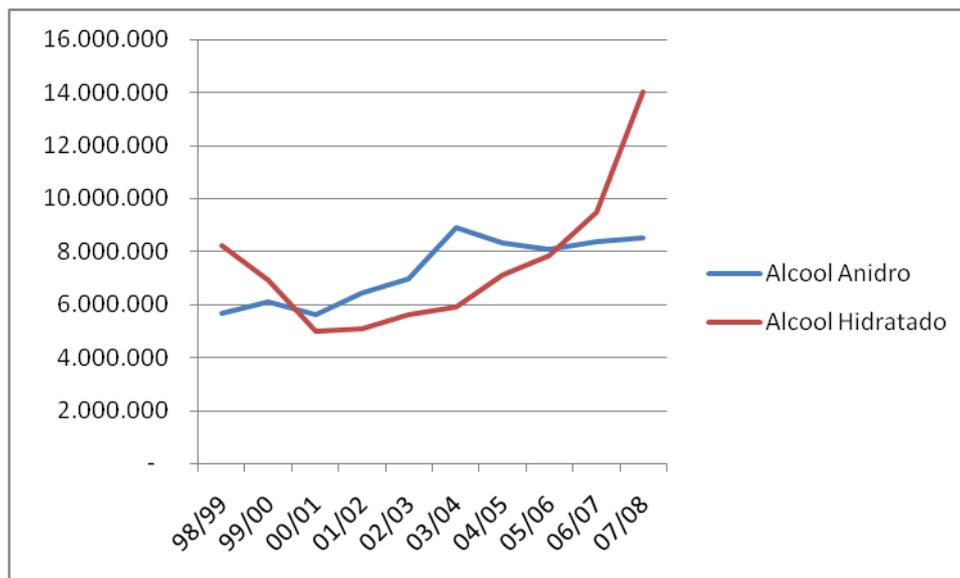


Figura 3: Produção de Álcool Anidro e Álcool Hidratado no Brasil de 98/99 a 07/08 em Toneladas.

Fonte: Datagro

Antes de 2003, com o fim do programa, a frota brasileira era composta, em sua maioria, por veículos abastecidos pela mistura gasolina e álcool. Entretanto, a partir desse ano, como uma reação do decrescente uso do etanol, a indústria automobilística introduziu os veículos bicombustíveis (*flex fuel*). Neste tipo de carro, o motor suporta qualquer tipo de mistura de gasolina e etanol. Com isso, o processo de escolha do consumidor tornou-se mais claro e direto, tendo como principal variável o preço dos combustíveis ajustado pelo rendimento no motor, abrindo espaço para o aumento do consumo de etanol no país. Em 2007, segundo a ANFAVEA (2009), a parcela dos veículos bicombustível da frota brasileira de veículos de passeio era quase 90%. A Figura 4 mostra a evolução das unidades vendidas de veículos *flex* no Brasil.

Segundo Tokgoz e Elobeid (2006), com o preço do petróleo em altos patamares, o número de veículos bicombustíveis crescerá significativamente. Isso ocasionará em um crescimento da demanda por etanol hidratado. No estudo dos autores, um choque no preço da gasolina ocasiona numa queda na demanda por esse produto e na demanda por álcool anidro em 5,2%. Entretanto, o consumo de etanol hidratado crescerá 2,6% devido ao efeito substituição da gasolina por etanol, permitido pela existência dos veículos *flex*.

Kamimura e Sauer (2008) afirmam que a introdução dos veículos *flex* na frota brasileira foi um meio de sucesso para a recuperação do mercado produtor de etanol. Porém, segundo eles, para atender a demanda de etanol, é necessário aproximadamente  $14 \times 10^6$  ha de cana-de-açúcar, representando um aumento de 10% para quase 26% da

área total utilizada para atividade agrícola. Isso representaria certamente uma troca de terras agrícolas para a produção de alimentos e o preço dos alimentos provavelmente aumentará.

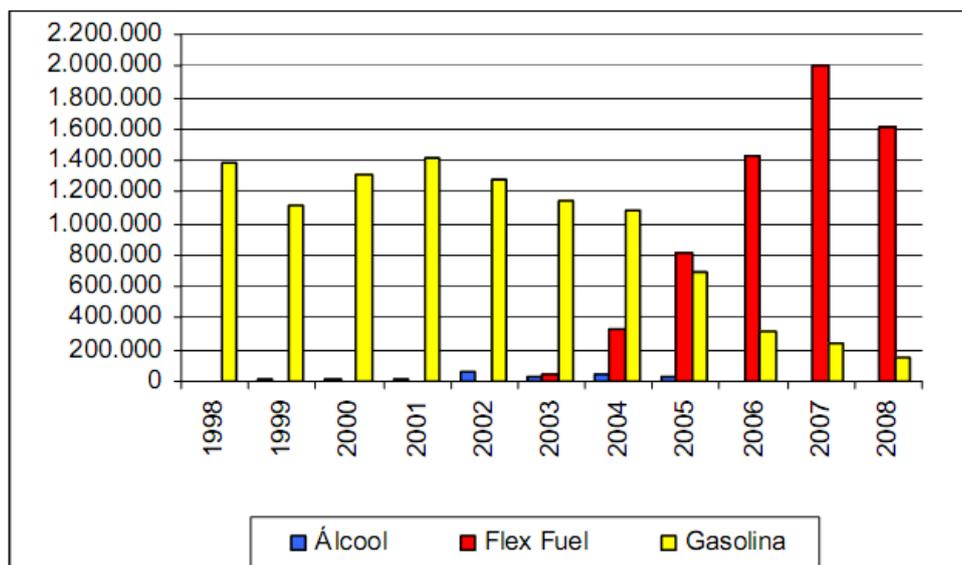


Figura 4: Evolução das Vendas de Automóveis *Flex* em Unidades.

Fonte: Marjota-Maistro (2008) com dados da ANFÁVEA

Além disso, outro aspecto importante do programa foi a redução da dependência interna do preço de petróleo. Segundo Weidenmier et al (2008), o Brasil reduziu a parcela de petróleo importado mais do que qualquer outra grande economia nos últimos 30 anos, de 70% na década de 70 para 10% nos dias atuais. No estudo de crescimento econômico do Brasil de 1980-2008, o PIB atual é 35% maior devido à produção doméstica de petróleo e o desenvolvimento do etanol de cana-de-açúcar, bem como foi encontrado pelos autores uma notável redução na volatilidade no ciclo de negócios.

O PROÁLCOOL de fato foi um programa de exemplo mundial que resultou na expansão do produto sucroalcooleiro e na melhoria na produtividade. A Figura 5 ilustra a evolução de produtividade desde a década de 70 até os dias atuais. O rendimento da Figura é o industrial (Kg de ATR - Açúcar Total Recuperável<sup>8</sup>) por tonelada de cana, que capta a tecnologia empregada na produção, de modo a analisar a inserção tecnológica no setor. Quanto mais sacarose é extraída da cana, menor o custo de matéria-prima para a fabricação do álcool e do açúcar. O rendimento teve um crescimento acumulado de 36% do ano 1970 a 2007.

<sup>8</sup> Açúcar Total Recuperável é um sistema de valoração da cana-de-açúcar que corresponde à quantidade de açúcar disponível na matéria-prima subtraída das perdas no processo industrial, e nos preços do açúcar e etanol vendidos pelas usinas nos mercados interno e externo.

Outro fator interessante é a relação entre a expansão da oferta de etanol e açúcar na região Centro-Sul e a área colhida de cana-de-açúcar desde o surgimento do PROÁLCOOL aos dias atuais. Na segunda metade da década de 70 até final da década de 80, ano de criação e expansão do PROÁLCOOL, a produção de açúcar se manteve praticamente constante em torno de 5 milhões de toneladas (Figura 6) e a área colhida aumentou praticamente devido à oferta de etanol. Já na década de 90 essa tendência se inverteu. A abertura comercial e a atração do preço do açúcar fizeram com que a oferta dessa commodity crescesse e a oferta do álcool se estabilizasse nessa época. Após a desregulamentação do setor, principalmente após o ano 2000, as ofertas das duas commodities cresceram sensivelmente. Entretanto, a produção de álcool cresceu a taxas menores do que o açúcar, com crescimento médio de 13% e 17%, respectivamente. Após a introdução dos veículos *flex* no Brasil, a oferta de álcool voltou a crescer mais do que a oferta de açúcar (com 14% contra 10% respectivamente), acirrando-se a competição entre esses mercados. Nota-se também na Figura 5 que a área colhida segue a tendência da expansão do mercado sucroalcooleiro.

A demanda por etanol no Brasil também cresceu nos anos de prosperidade do PROÁLCOOL entre 1982 até 1986 (Figura 7). A média de crescimento no período alcançou quase 20%. Após esse período, a demanda praticamente tornou-se estável. Após o ano de 2003, com a nova política de incentivos de biocombustíveis, a taxa de crescimento da demanda foi de 13% e atingindo 43% no ano de 2006/2007.

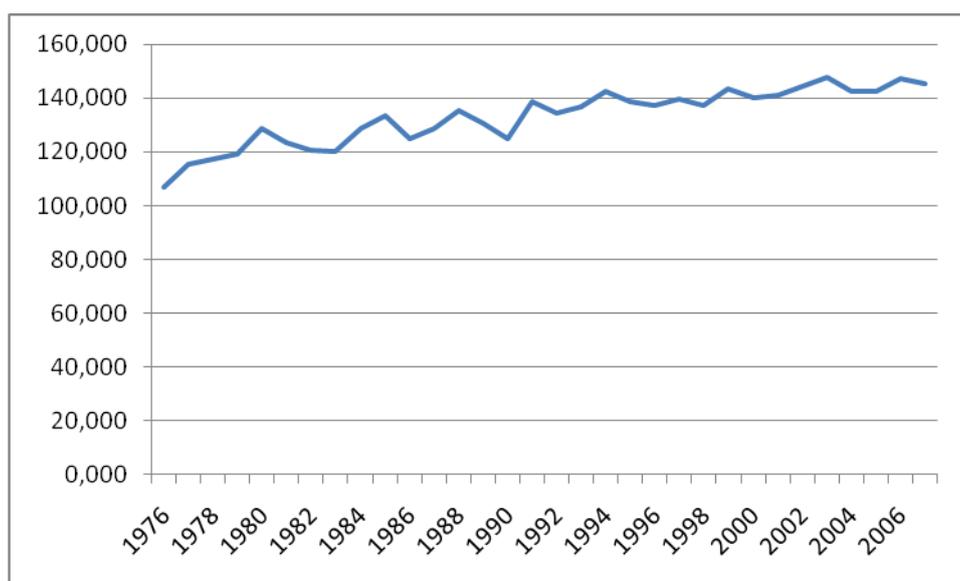


Figura 5: Evolução do Rendimento Industrial da Cana-de-Açúcar (em Kg de ATR) nos Anos de 1976 a 2007.

Fonte: Elaboração própria, baseados em dados da Datagro.



Figura 6: Oferta de Açúcar em Milhões de t, Oferta de Álcool em Milhões de m³ e Área Colhida em Milhões de ha. nos Anos de 1976-2007.

Fonte: Elaboração própria baseado em dados da Datagro.

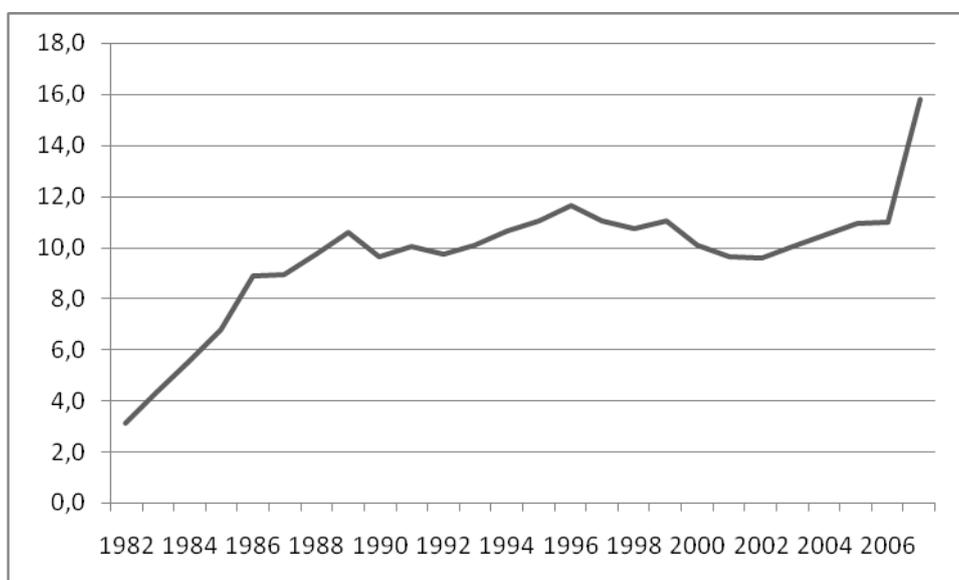


Figura 7: Evolução da Demanda de Etanol nos Anos de 1982-2007 em R\$ Milhões  
Fonte: Datagro

#### 4.2.2. Dinâmica do Mercado Sucroalcooleiro

O Brasil possui o mercado sucroalcooleiro mais integrado, maduro e mais lucrativo do mundo (Shmidhuber, 2007). Uma característica que diferencia o setor sucroalcooleiro dos demais segmentos agroindustriais é a flexibilidade na combinação de produtos finais, ora elevando a produção de açúcar, ora produzindo mais álcool (anidro ou hidratado), em resposta a mudanças nos preços relativos dos produtos. A parcela da produção destinada a cada um desses produtos finais, na região Centro-Sul, em equivalentes de Açúcar Total Recuperável (ATR) pode ser visualizada na Figura 7. Segundo Datagro (2007), no início da década de 90, mais de 70% da cana moída era direcionada para a produção de álcool, situação essa que foi sendo progressivamente modificada. Desta forma, tem-se uma indicação clara de que ocorreu uma mudança na combinação dos produtos finais obtidos pelo processamento da cana ao longo dos últimos anos, favorecendo a produção de açúcar em relação à produção de álcool. Tal comportamento pode ser explicado pelo surgimento de um mercado externo promissor para as exportações de açúcar associado à perda de importância relativa do Programa Nacional do Álcool. No entanto, observa-se que, a partir da safra 2004/05, a participação do álcool no *mix* de produção recuperou forças em virtude principalmente do advento dos veículos bicombustíveis.

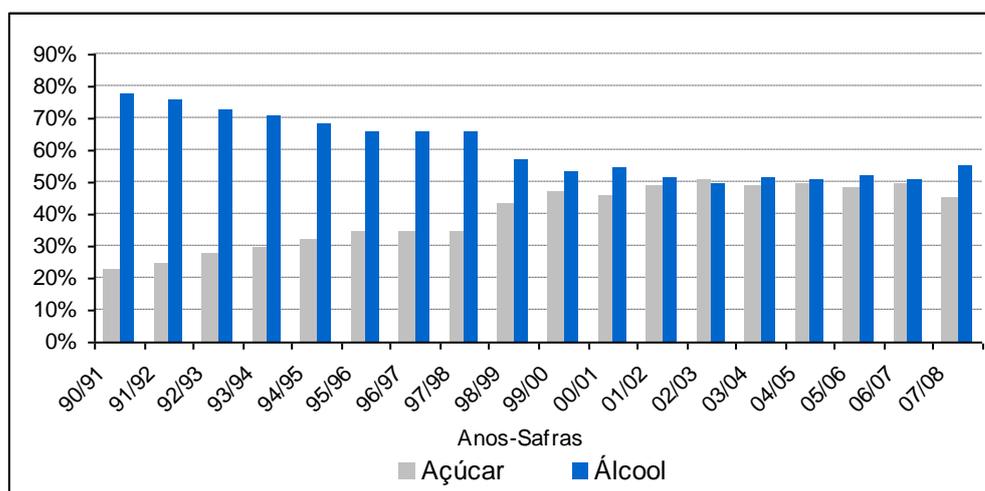


Figura 8: Evolução da Participação da Produção de Açúcar e Álcool no total de ATR Produzido na Região Centro-Sul – Safras 1990/91 a 2007/08.

Fonte: Datagro (2007).

Existe também o crescimento da demanda externa por açúcar e por etanol brasileiros. Para o etanol, há um grande potencial de exportação devido a fatores ligados à produtividade e à crescente demanda dos países desenvolvidos visando a uma menor dependência de combustíveis fósseis (Martines-Filho, 2006 e Cabrini e Marjotta-Maistro, 2007)<sup>9</sup>. Para o açúcar, o mercado se mostra mais consolidado, pois cerca de dois terços do açúcar produzido no país é exportado (Datagro, 2007). Costa et al (2006) argumentam também que a exportação de açúcar e álcool ganhou destaque a partir do maior empenho na rodada de negociações da Organização Mundial de Comércio (OMC) para a redução do protecionismo dos países desenvolvidos na produção de açúcar, e da assinatura do Protocolo de Kyoto para uma maior efetivação do mercado internacional do álcool<sup>10</sup>.

Além de o Brasil possuir esse grande potencial exportador<sup>11</sup>, ele também é o maior consumidor de etanol, sendo o mercado interno o maior responsável pela expansão do setor (Bichara, 2007). Essa expansão do consumo interno é justificada pelo aumento das vendas de carros bicombustíveis, correspondendo hoje a cerca de 80% dos veículos vendidos, e pela diferença entre o preço do álcool hidratado e da gasolina na bomba (Cabrini e Marjotta-Maistro, 2007). Giesecke et al (2007) também destaca que o crescimento da demanda mundial pelo etanol brasileiro, parece ser menos importante para expansão do etanol do que o mercado interno, destacando assim a importância dos veículos *flex* para retomada do mercado de etanol no Brasil.

O açúcar brasileiro possui notório destaque no mercado mundial. A Tabela 3 mostra o panorama dos principais países produtores, consumidores e exportadores de açúcar refinado nos anos de safra 2005/2006. A importância do Brasil nesse mercado é observada pelas suas taxas de participação na produção mundial e nas exportações, sendo de, respectivamente de 20% e 38%. Então, o Brasil, como mais importante exportador de açúcar, determina a disponibilidade de açúcar no mercado mundial e assim o preço mundial de açúcar. Schmidhuber (2007), afirma que a forte relação entre

---

<sup>9</sup> Segundo Cabrini e Marjotta-Maistro (2007), a União Européia, Canadá, Índia, Tailândia, América do Sul e Central, têm anunciado significativos investimentos para produção de álcool. Para isso, muitos deles estão concedendo subsídios à produção com o intuito de que o álcool seja mais competitivo frente à gasolina, devido à menor experiência acumulada e escala de produção ou aos custos mais elevados decorrentes da matéria-prima utilizada.

<sup>10</sup> Carvalho (2008) afirma que a taxa de crescimento médio da produção de açúcar brasileiro é quatro vezes maior do que a taxa média mundial.

<sup>11</sup> Para Tetti (2005), o Brasil só não exporta mais por falta de produção excedente para ser destinada ao mercado internacional.

preço do açúcar e do etanol é corroborada pela forte correlação entre as exportações brasileiras de açúcar e preços do etanol

Tabela 3 - Participação de Países e Regiões Seleccionadas no Mercado Mundial de Açúcar 2005/2006

<b>País</b>	<b>Produção</b>	<b>Importações</b>	<b>Exportações</b>	<b>Produto</b>
<b>EUA</b>	4,7%	4,6%	0,3%	6,5%
<b>México</b>	4,2%	0,2%	0,7%	3,8%
<b>Caribe</b>	1,6%	1,5%	3,1%	1,0%
<b>América Central</b>	2,8%	4,7%	5,0%	1,1%
<b>Brasil</b>	19,9%	0,0%	38,2%	7,6%
<b>Europa Ocidental</b>	14,9%	6,2%	15,0%	12,7%
<b>Europa Oriental</b>	0,6%	5,5%	1,4%	1,9%
<b>África</b>	5,9%	13,5%	7,6%	7,5%
<b>Índia</b>	12,8%	2,3%	0,4%	13,9%
<b>China</b>	7,3%	3,0%	0,2%	8,2%
<b>Oriente Médio</b>	3,5%	18,8%	4,9%	7,4%
<b>Resto do mundo</b>	21,8%	39,6%	23,1%	28,4%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%

Fonte: Silva e Almeida (2006) baseado em dados da USDA.

A expansão da demanda por álcool resultou na mudança entre os mercados de álcool e açúcar no Brasil. Com essa inflação dos dois mercados e com um aumento persistente do preço dos combustíveis fósseis, os fundamentos da relação entre açúcar e álcool mudaram no Brasil, surgindo uma competição entre eles (Silva e Almeida, 2006). A crescente demanda por etanol induz uma produção maior de cana-de-açúcar destinada para esse produto, resultando em uma redução de oferta dessa última commodity, e conseqüentemente um aumento de seu preço (Tokgoz e Elobeid, 2006).

Um dos fatores que também assegura essa forte relação entre esses dois mercados é o preço do petróleo, o qual é referência para a viabilidade na produção de biocombustível. Ademais, Schmidhuber (2007) defende que o preço do petróleo é um importante ator na relação de causalidade entre o preço de açúcar e álcool. No curto prazo, os consumidores asseguram a relação entre petróleo (gasolina) e etanol, os produtores entre preço de etanol e açúcar; juntamente eles criam uma forte relação entre o preço do açúcar e o preço do petróleo (Figura 9). Segundo Tokgoz e Elobeid (2006) existem fortes evidências que os altos preços do açúcar estejam associados ao preço do petróleo. Uma análise de mercado da FAO (2006) concluiu que o preço do açúcar

geralmente tende a seguir os preços do petróleo. Essa relação é comprovada no estudo de Balcombe e Rapsomanikis (2008).

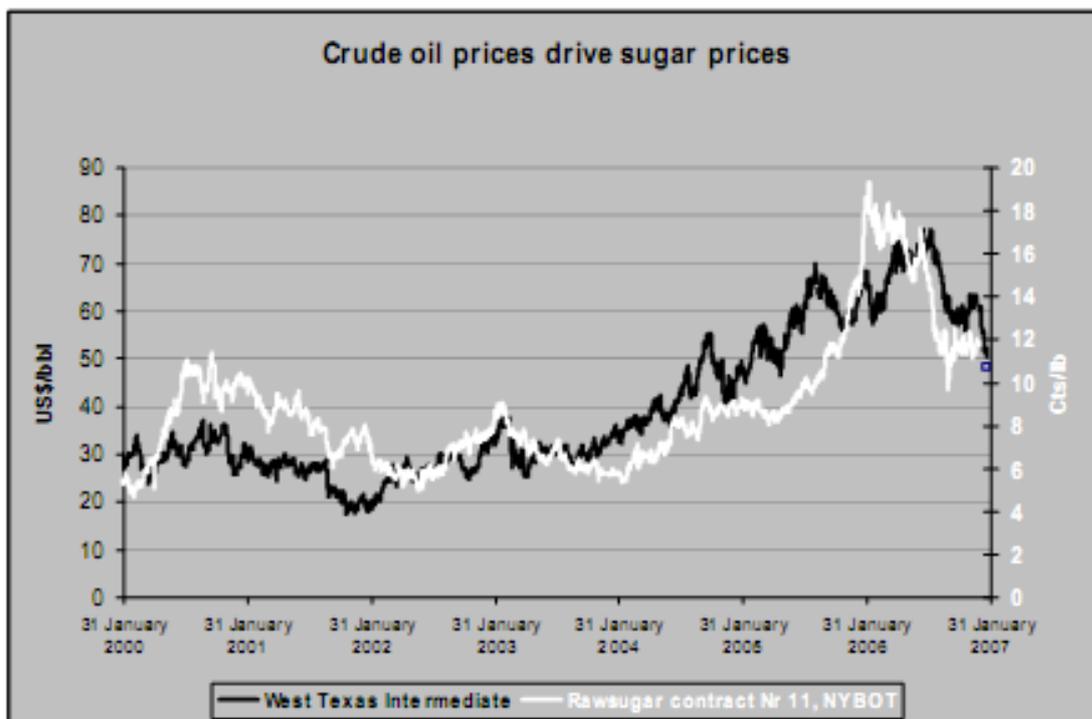


Figura 9: Preço do Açúcar “Segue” o Preço do Petróleo acima de US\$ 35/bbl  
Fonte: Schmidhuber (2007)

Segundo Tokgoz e Elobeid (2006) e Von Lampe (2006), com a crescente demanda de biocombustível, 12 das 19 novas usinas abertas no país produzirão apenas etanol. O governo brasileiro antecipa que 89 novas usinas terão que ser construídas nos próximos anos para suprir a crescente demanda do biocombustível (F.O.Lichts 2006). Com a expansão da demanda por etanol, em março de 2006, as principais processadoras de combustíveis resolveram diminuir de 25% para 20% a mistura do etanol na gasolina devido à oferta limitada de etanol. Assim, como a procura por etanol estava alta, os produtores substituíram a produção de açúcar por etanol, resultando no mais alto preço do açúcar nos últimos 5 anos. Desta forma, o produtor vem sendo beneficiado, pois tem em mãos dois mercados com grandes demandas. Entretanto, a competição surge como alvo de questionamentos e de políticas públicas caso a demanda de biocombustíveis limite a oferta de alimentos (Martines-Filho, Burnquist e Vian 2006).

Para Smeets et al (2008), também existe uma correlação inversa entre produção de etanol e produção de açúcar. Como muitas usinas produzem açúcar e etanol, a razão da produção de açúcar para o etanol depende do preço desses produtos. Estudos de

cenários da OCDE (2006) indicam um preço do açúcar cristal em 2014 de 100€/t no cenário de nenhuma produção adicional de biocombustível comparado com preço presente de 200€/t. No cenário de metas políticas, no qual a produção de biocombustível se desenvolve de acordo com os objetivos dos governos, o preço crescerá para 160€/t em 2014 ou 188€/t no caso da permanência do alto preço do petróleo de 60 US\$/barril que aumenta os custos de produção, mas também aumenta a demanda por bioetanol. Uma maior liberalização do mercado de açúcar da OCDE pode ter um maior impacto no preço do açúcar e, assim, no preço do etanol; Mitchell (2005) estimou que a total liberalização do comércio aumenta o custo do açúcar em 40%. Também deve ser notado que a cultura do açúcar contabilizou 18% do consumo diário de alimentos no Brasil em 2004.

É importante salientar que o foco do estudo é no mercado sucroalcooleiro na região Centro-Sul. Entre os principais motivos para direcionar o estudo para essa região é que o etanol, o biocombustível mais importante do mundo, é produzido com a combinação de solos férteis, clima favorável, infra-estrutura e o PROÁCOOL que fizeram São Paulo e a região Centro-Sul serem responsáveis por 21% da produção mundial. E uma grande fração do aumento da produção de etanol no Brasil durante a próxima década será realizada nessa região (Smeets et al 2008). Entretanto, alguns estudos afirmam que a solução para o possível impacto do aumento da produção de etanol sobre a produção de açúcar está em reduzir a concentração da indústria canavieira na região Centro-Sul. A expansão da área cultivada de cana-de-açúcar poderia, assim, reduzir os efeitos de altas no preço e aumento na demanda por etanol, que possivelmente gerariam choques de oferta no mercado de açúcar. O ideal seria, portanto, levar possibilidades de produção para regiões como, por exemplo, Centro-Oeste e Meio Norte (Tocantins, sul do Maranhão e Piauí), que possuem condições geográficas, mas não econômicas, para o cultivo de cana, dadas as condições de infra-estrutura, investimentos, proximidade portuária, que São Paulo possui. Para isso, se faz necessário investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Martines-Filho et al, 2006 e Cabrini e Marjotta-Maistro, 2007), a fim de desenvolver as melhores variedades adaptáveis àquelas regiões, assim como reduzir gastos com o próprio cultivo para que essas regiões sejam capazes de competir com os baixos custos alcançados em São Paulo. Todavia, esse assunto vai além do foco deste estudo.

Ainda sobre a relação do mercado do álcool e açúcar, Shikida e Bacha. (2007) analisam as ofertas de açúcar e álcool paranaenses, a partir da modelagem econométrica de cointegração. Como resultados, uma variação de 1% no preço médio do açúcar gera uma variação positiva de 1,2% na quantidade ofertada deste produto, e, uma variação de 1% na média do preço médio do álcool, a quantidade ofertada de açúcar sofre uma queda de 2,0%. Um aumento de 1% no preço médio da cana-de-açúcar gera um acréscimo menos que proporcional na oferta do açúcar (0,79%). Os resultados sugerem que o dinamismo da agroindústria canavieira do Estado do Paraná tem sido dado, principalmente, pela oferta de açúcar, sendo a oferta de álcool mais residual (comparativamente à produção de açúcar).

Para Müller et al (2007), os altos preços do açúcar brasileiro afetam também outras economias produtoras dessa commodity bem como a alocação de terra destinada para a plantação de matéria-prima para o açúcar. Isso ocorre segundo os autores, pois o Brasil, como já afirmado, é um agente importante nesse mercado e como os preços do açúcar brasileiro estão subindo, há um efeito de alta dos preços internacionais. Alguns países adotam a cotação internacional do açúcar para produzirem internamente. Então com os preços internacionais mais altos os produtores que adotam esse preço, irão alocar mais terra para plantar matéria-prima do açúcar, preterindo então as outras culturas alimentares, aumentando, portanto o preço dessas culturas.

Desta forma, como citado na revisão de literatura, existe uma correlação entre produção de etanol e produção de açúcar, como muitas usinas produzem açúcar e etanol: a razão da produção de açúcar para o etanol depende do preço do açúcar e do etanol. Ou seja, a competição dos mercados de açúcar e álcool é determinada pelo preço dessas duas commodities. A Figura 10 mostra a evolução do índice de preços do açúcar do álcool e da cana-de-açúcar. A tendência de queda dos preços desde a década de 70 é resultado do ganho de produtividade, que permitiu a queda no custo de produção. Nota-se, porém que desde a desregulamentação do mercado do álcool e com a nova composição da frota brasileira, a tendência de preço se inverteu.

Com relação aos preços internacionais do açúcar é encontrado que ele segue os preços nacionais. Isso mostra que o mercado de açúcar nacional tem uma grande influência na determinação do preço internacional, devido à liderança do Brasil nas exportações de açúcar para o mundo. A Figura 11 ilustra a trajetória do preço mensal internacional e nacional do açúcar.

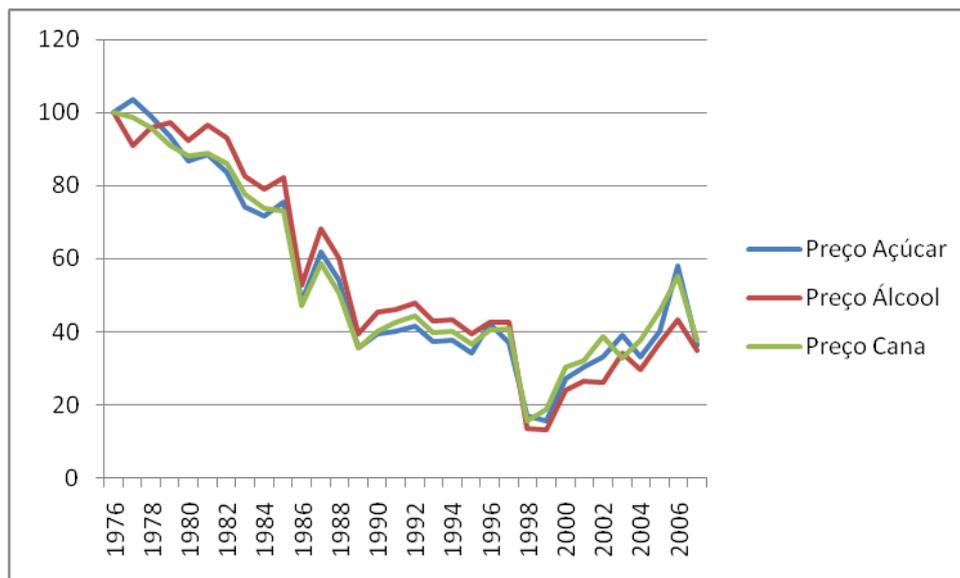


Figura 10: Evolução do Índice do Preço da Cana, do Preço do Açúcar, do Preço do Alcool, 1976 a 2007

Fonte: Elaboração própria baseada em dados da Datagro

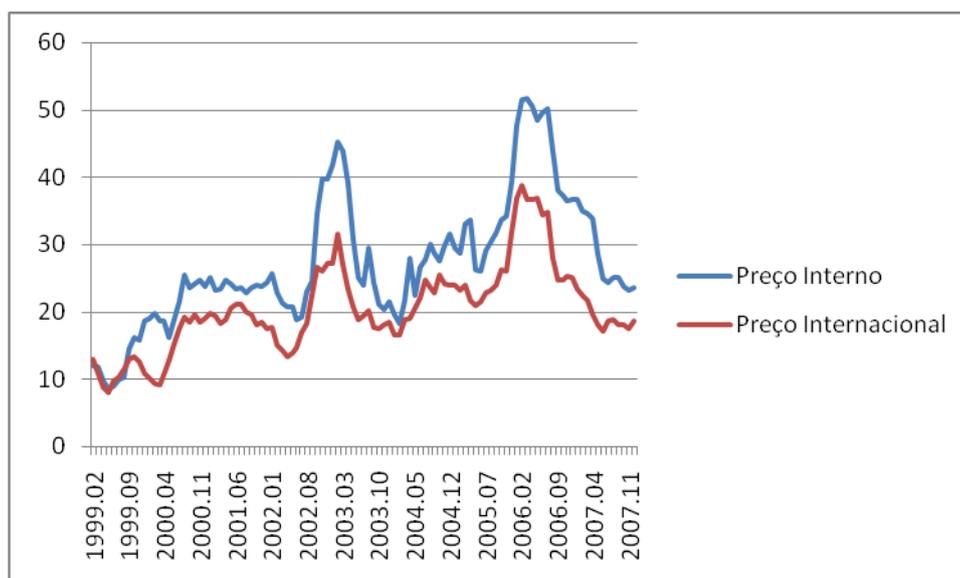


Figura 11: Preço Mensal do Açúcar Nacional e Internacional em R\$/saca de Fevereiro de 1999 a Dezembro de 2007.

Fonte: Elaboração Própria com base em dados da CEPEA e Datagro.

Baseado nesses gráficos pode-se considerar um aumento de preço do açúcar no mercado nacional e internacional, a partir da desregulamentação e da introdução dos veículos *flex* no Brasil que acelerou a demanda por etanol no Brasil, bem como a alta do preço do petróleo. É necessário analisar mais profundamente essa questão, através de um teste econométrico, a dinâmica do mercado sucroalcooleiro em face aos acontecimentos ocorridos após a desregulamentação do mercado.

A questão chave a ser respondida é se o Brasil pode aumentar a produção de etanol a fim de suprir a expansão da demanda, sem prejudicar a produção de açúcar no mercado nacional e internacional.

## 5. Aspectos Metodológicos e Apresentação do Modelo

### 5.1. Introdução

Há poucos trabalhos econômicos sobre biocombustíveis, pois a grande expansão dos biocombustíveis é um fenômeno recente no mundo. Rajagopal e Zilberman (2007) fornecem uma vasta revisão sobre biocombustíveis e dividem os modelos econômicos em quatro categorias: (i) modelos de contabilidade de custo; (ii) micromodelos de alocação de recursos e adoção de tecnologias; (iii) modelo de setores; e (iv) modelo de equilíbrio geral e comércio internacional. Os dois primeiros tipos de modelos calculam a lucratividade da implantação dos biocombustíveis considerando um produtor individual. Porém, esses modelos, segundo os autores, devem ser vistos com ceticismo, pois as distorções comerciais devido a políticas governamentais não são consideradas na análise. Eles também ignoram efeitos de *feedback* da produção em larga escala dos biocombustíveis, como aumento de terras cultiváveis, custos de insumos, etc. Como exemplos desses tipos de modelos, têm-se os trabalhos de Khanna, Dhungana, and Clifton Brown (2007), Graham et al. (1995), Tiffany e Eidman (2003), Tyner e Taheripour (2007) apud Rajagopal e Zilberman (2007).

O terceiro tipo de modelo estuda os impactos no nível de setor ou em toda economia. Esses modelos se preocupam com a previsão do impacto das políticas de biocombustíveis nos preços dos alimentos, renda agrícola, comércio e bem-estar. A maioria dos modelos foca em economias dos Estados Unidos e na União Européia, e não consideram em detalhes os países em desenvolvimento. A metodologia sugerida no presente trabalho se encaixa no modelo de setor e será discutido na próxima seção. Por fim, o quarto tipo de modelo, que busca entender os impactos dos biocombustíveis em todos os setores da economia. A ferramenta que contabiliza todos os mecanismos entre biocombustíveis e outros mercados é a análise de equilíbrio geral computável (CGE). Como exemplo de trabalhos de equilíbrio geral citam-se os trabalhos de Dixon, Osborne e Rimmer (2007), McDonald, Robinson e Thierfelder (2007), Reilly e Palrsev (2007), Banse et al (2007), Hertel et al (2008) apud Rajagopal e Zilberman (2007).

Os trabalhos empíricos do modelo de setor, que abordam a questão dos biocombustíveis, seus efeitos locais e globais sobre a produção de alimentos e outros fatores ligados à segurança alimentar são de Fabiosa et al (2008), Elobeid e Tokgoz

(2006), Tokgoz et al (2007), Gallagher et al (2006), Von Lampe (2006) e Elobeid et al (2006). Estes trabalhos analisaram a expansão da oferta e demanda de etanol e seus impactos na alocação de terra para outras culturas alimentares, preço dos alimentos e exportações entre os países produtores de biocombustíveis. Esse tipo de análise foi realizada através do modelo de equilíbrio parcial de multi-mercado e multi-país. O modelo é uma versão customizada do modelo determinístico do Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI)<sup>12</sup>. Todos os trabalhos, com exceção de Gallagher et al (2006), trataram os preços da matéria prima de etanol como endógenos. Os parâmetros e elasticidades desse modelo são adquiridos no banco de dados da FAPRI ou são estimados através de métodos econométricos.

Além dos modelos FAPRI, Rajagopal e Zilberman (2007) apontam para existência de outros tipos de modelos de equilíbrio parcial como o IMPACT, o qual prevê um crescimento agressivo na oferta de etanol e biodiesel na ausência de melhorias na produtividade das culturas, existindo possivelmente um drástico aumento de preço dos alimentos. O AGLINK-COSIMO é outro modelo de equilíbrio parcial de mercados de produtos agrícolas desenvolvido pela OECD e FAO para desenvolvimento de projeções de médio-prazo de oferta, demanda, comércio e preços e outros fatores. Mercados não agrícolas não são modelados e são tratados exógenamente nos modelos. O modelo prevê um aumento de preço de culturas em 2014 perto de 2% no caso de oleaginosas e quase 60% no caso do açúcar. Outro modelo chamado POLYSYS, é usado para simular mudanças na oferta e demanda do setor agrícola americano de culturas e rações, preços, receitas, transferências do governo, e renda agrícola em resposta a mudanças nas condições políticas, econômicas e de recursos.

Balcombe e Rapsomanikis (2008), Silva e Almeida (2006) e Shikida e Bacha. (2007) e Figueira e Burnquist (2006) analisaram a natureza da relação entre o preço do etanol e açúcar, bem como a relação desses dois mercados com o preço do petróleo. Balcombe e Rapsomanikis (2008) utilizaram o método de estimação Bayesiana e cointegração não linear; Silva e Almeida (2006), o método de causalidade de Granger; e Figueira e Burnquist (2006) o método de Box Jenks para preverem o mercado de gasolina e etanol em 2012. Shikida e Bacha. (2007) estudam os impactos do preço do álcool e do açúcar na oferta dessas duas commodities, utilizando cointegração.

---

<sup>12</sup> [www.fapri.org](http://www.fapri.org) para maiores informações.

Na literatura recente, nota-se que os trabalhos ressaltam a importância do crescimento da demanda por etanol nas culturas alimentares. Neste presente trabalho faz-se um tipo de análise semelhante. Para tal análise, utiliza-se a metodologia de vetores autoregressivos (VAR). Alguns trabalhos, como o de Balcombe e Rapsomanikis (2008) e Zhang et al (2007) utilizaram esse tipo de abordagem. A estimação do VAR permite estimar os efeitos do mercado de etanol sobre o mercado de alimentos e vice-versa.

Os trabalhos citados apresentam alguns pontos interessantes, bem como algumas lições de aprendizado. Os autores que utilizaram o modelo de equilíbrio parcial, por exemplo, analisaram os impactos da demanda crescente dos biocombustíveis nos setores alimentares de diversos países. Entretanto, como no caso do Brasil, pode ser vantajoso estudar se o mercado de açúcar é mais atraente, em termos de preço, do que o mercado de biocombustível. Além disso, de acordo com Rajagopal e Zilberman (2007) os modelos de equilíbrio parcial são estáticos e não capturam as interações dinâmicas entre mercados agrícolas e energéticos. Também, segundo eles, em muitos modelos não existe um uso explícito do preço do petróleo, e se modela apenas a expansão do biocombustível. Por fim eles apontam que embora simulações baseadas em esforços para quantificar esses efeitos são juntamente fortes, testes econométricos desses efeitos é uma importante área de futuras pesquisas.

Na literatura do setor sucroalcooleiro do Brasil foi encontrada uma relação forte entre os mercados de açúcar e álcool bem como com o preço de petróleo. É necessário, pois, entender com maior profundidade a relação de causalidade entre esses mercados. Portanto, utiliza-se o VAR, pois além de ser um modelo que capta a dinâmica das variáveis, constata o sentido da causalidade a qual tem implicações decisivas para a política econômica.

## 5.2. Modelo

### 5.2.1. Vetores Autoregressivos

É de grande importância o estudo da relação de causalidade entre as variáveis econômicas. Existem muitos casos em que duas variáveis apresentam uma evolução altamente correlacionada, mas que não necessariamente exista uma relação de causalidade entre as mesmas (Silva e Almeida, 2006).

O modelo VAR consiste em um sistema de equações, em que cada uma das variáveis que compõem o sistema é função dos valores das demais variáveis no presente, dos seus valores e dos valores das demais variáveis defasadas no tempo, mais o termo de erro. As equações de um modelo VAR podem conter também tendências determinísticas e variáveis exógenas (Enders, 2004).

Segundo Johnston e DiNardo (2001) e Enders (2004), um VAR, em sua forma reduzida<sup>13</sup>, de primeira ordem e duas variáveis pode ser escrito da seguinte forma matricial:

$$y_t = \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \end{bmatrix} = m + Ay_{t-1} + \varepsilon_t$$

ou, de modo equivalente, como o seguinte sistema de equações:

$$y_{1t} = m_1 + a_{11}y_{1,t-1} + a_{12}y_{2,t-1} + \varepsilon_{1t}$$

$$y_{2t} = m_2 + a_{21}y_{1,t-1} + a_{22}y_{2,t-1} + \varepsilon_{2t}$$

É necessário também na utilização do VAR que as séries sejam estacionárias, caso contrário, utiliza-se o mecanismo de correção de erro proposta por Engle e Granger (1987) e Johansen e Juselius (1990) para o uso de Vetores de Correção de Erro (VEC). Para analisar estacionariedade é utilizado o teste de Dickey-Fuller aumentado.

---

<sup>13</sup> VAR reduzido é aquele que, através de algumas operações matemáticas, os valores do presente deixam de constar como variáveis explicativas. Ver detalhes em Enders (1995).

Antes de estimar um modelo VAR, no entanto, é necessária identificação da existência de causalidade entre as variáveis, ou seja, verificar se o valor de uma delas depende dos valores passados das demais (Johnston e DiNardo, 2001). Para tanto, será realizado o teste de Causalidade de Granger.

O teste de Causalidade desenvolvido por Granger é um teste F, no qual a hipótese nula afirma que não há relação de causalidade entre as variáveis testadas. Se for possível afirmar estatisticamente que uma variável X causa no sentido de Granger uma variável Y, então valores defasados da variável X influenciam o comportamento da variável Y (Gujarati, 2000). Vale lembrar que esta noção não exclui a possibilidade de uma causalidade nos dois sentidos, isto é, pode acontecer de Y causar no sentido de Granger X e X causar no sentido de Granger Y. Nesses casos, é possível que exista uma terceira variável Z que influencie ambas as variáveis X e Y (Silva e Almeida, 2006). Enders (2004), no entanto argumenta que se as variáveis possuírem mesma ordem de integração, e tal ordem for maior que zero, não é necessário aplicar o teste de causalidade de Granger, pois a relação de causalidade entre elas ocorrerá no longo prazo.

Entretanto, espera-se que a relação de causalidade entre os preços das commodities não sejam bi-causais entre si, pois o preço do petróleo não pode ser afetado pelo preço do açúcar e do álcool brasileiro. Então, o preço do petróleo determina o modelo, mas não é determinado. Com esse tipo de situação, a simetria do VAR não prevalece e os estimadores de mínimos quadrados ordinários não são válidos (Enders 1996). A estimação do sistema assimétrico é feita através do método SUR (Seemingly Unrelated Regression) e o sistema passa a se chamar quase-VAR. Enders (1996) afirma que o SUR melhora a eficiência dos parâmetros.

Logo após identificar a relação de causalidade, é necessário determinar o número de defasagens do sistema que é realizado por meio de um teste assintótico chamado de teste do coeficiente de máxima verossimilhança, que consiste na comparação de modelos com ordens de defasagens diferentes. A hipótese nula desse teste afirma que os modelos não possuem diferença, aceitando essa hipótese então, o modelo escolhido é aquele que possui menor número de defasagens. Caso contrário, rejeitando  $H_0$ , deve-se optar pelo modelo com maior número de defasagens (Enders, 2004). O teste segue a distribuição  $\chi^2$  com graus de liberdade igual ao número de restrições do modelo com maior defasagem.

Se uma ou mais equações do sistema é restringida tal que o lado direito delas é diferente (incluindo a possibilidade de diferentes números de lags), o sistema é chamado de quase-VAR. Segundo Enders (1996), são exemplos teóricos do quase-VAR.

- i. Números de defasagens diferentes:
 
$$\begin{aligned} y_t &= a_{11}(1)y_{t-1} + a_{11}(2)y_{t-2} + a_{12}x_{t-1} + e_{1t} \\ x_t &= a_{21}y_{t-1} + a_{22}x_{t-1} + e_{2t} \end{aligned}$$
- ii. A série  $\{x_t\}$  não causa no sentido de Granger  $\{y_t\}$ :
 
$$\begin{aligned} y_t &= a_{11}y_{t-1} + e_{1t} \\ x_t &= a_{21}y_{t-1} + a_{22}x_{t-1} + e_{2t} \end{aligned}$$
- iii. Uma terceira variável  $\{w_t\}$  afeta somente  $\{x_t\}$ :
 
$$\begin{aligned} y_t &= a_{11}y_{t-1} + a_{12}x_{t-1} + e_{1t} \\ x_t &= a_{21}y_{t-1} + a_{22}x_{t-1} + a_{23}w_t + e_{2t} \end{aligned}$$

Uma ferramenta essencial para analisar a inter-relação dinâmica entre as variáveis no VAR são os vetores de médias móveis (VMA). Segundo Enders (1996) a representação do VMA expressa as variáveis  $y_t$  e  $x_t$  em termos dos valores presentes e passados dos dois choques nos resíduos de  $y_t$  e  $x_t$ . Por iteratividade, e considerando  $\mu_y$  e  $\mu_x$ , os valores médios de  $\{y_t\}$  e  $\{x_t\}$ , respectivamente, a forma reduzida do VAR pode ser expressa em termo de média móvel:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ x_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} + \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{xt} \end{bmatrix}$$

Definindo a matriz 2x2 de  $\phi_i$  com elementos  $\phi_{jk}(i)$  tal que:

$$\phi_i = \frac{A_1^i}{1 - b_{12}b_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

Os coeficientes de  $\phi_i$  podem ser usados para gerar os efeitos dos choques  $\varepsilon_{yt}$  e  $\varepsilon_{xt}$  no tempo das seqüências  $\{y_t\}$  e  $\{x_t\}$ . Por exemplo, o coeficiente  $\phi_{12}(0)$  é o impacto instantâneo da mudança em uma unidade em  $\varepsilon_{xt}$  em  $y_t$ . Os quatro coeficientes  $\phi_{11}(i)$ ,  $\phi_{12}(i)$ ,  $\phi_{21}(i)$  e  $\phi_{22}(i)$  são chamados de funções de impulso resposta. A construção da função impulso resposta é um método prático para visualmente representar o comportamento de  $\{y_t\}$  e  $\{x_t\}$  em resposta a vários choques.

Enders (1996) chama atenção para o problema da identificação no sistema de vetores autoregressivos. Em um VAR é necessária uma restrição adicional para identificar o impulso resposta. Uma possível restrição de identificação é utilizar a decomposição de Choleski tal que:

$$e_{1t} = \varepsilon_{yt} - b_{12}\varepsilon_{xt}$$

$$e_{2t} = \varepsilon_{xt}$$

A segunda equação do sistema acima diz que todos os erros observados da sequência  $\{e_{2t}\}$  são atribuídos a choques em  $\varepsilon_{xt}$ . Embora a decomposição de Choleski restrinja o sistema, tal que um choque em  $\varepsilon_{yt}$  tenha nenhum efeito direto em  $x_t$ , existe um efeito indireto nos valores defasados de  $y_t$  que afetam os valores contemporâneos de  $x_t$ . Caso  $b_{12} = 0$ , a estrutura dos resíduos do sistema na forma reduzida será modificada. Com isso, Enders (2004) evidencia a importância da ordem de entrada da matriz dos efeitos contemporâneos. Se a aplicação da função impulso resposta for modificada em virtude da ordem de entrada das variáveis, é recomendada uma investigação na relação entre as variáveis.

Em nosso estudo, com a função impulso resposta, deseja-se saber como o mercado de açúcar responde aos choques do preço do etanol e do petróleo e como o mercado de etanol responde a choques dos preços do açúcar e do petróleo. Nota-se também que na literatura o mercado de açúcar tem sido mais representativo no período analisado. Com isso, restrição do modelo é que não existe efeito contemporâneo no preço do álcool no açúcar e essas duas variáveis não possuem efeito no preço do petróleo. Como a estrutura do modelo é um quase-VAR a estrutura dos resíduos com a decomposição de Choleski será modificada.

A decomposição da variância é também estimada modificando a estrutura do VAR para VMA. Segundo Enders (2004), a decomposição da variância mostra a proporção dos movimentos em uma sequência devido ao próprio choque *versus* choques de outras variáveis. Se choques nos erros de  $x_t$  não explicam nenhuma variância no erro de previsão de  $\{y_t\}$  em todos os horizontes de previsão, diz-se que a sequência  $\{y_t\}$  é exógena. Essa análise é fundamental para que seja possível identificar não somente se há uma relação entre o mercado de açúcar e álcool, como também qual mercado possui a maior influência sobre o outro.

Pretende-se estimar dois modelos empíricos, o primeiro consiste em analisar a dinâmica do mercado interno e o segundo estima os impactos considerando o preço internacional do açúcar. O modelo empírico do quase-VAR encaixa-se nos exemplos ii e iii citados acima.

$$LAC = \beta_0 + \beta_1 \sum_{j=1}^T LAC_{t-j} + \beta_2 \sum_{j=1}^T LAH_{t-j} + \beta_3 FLEX + \beta_4 LPET$$

$$LAH = \beta_0 + \beta_1 \sum_{j=1}^T LAC_{t-j} + \beta_2 \sum_{j=1}^T LAH_{t-j} + \beta_3 FLEX + \beta_4 LPET$$

$$LPET = \beta_0 + \beta_1 \sum_{j=1}^T LPET_{t-j}$$

Onde, LAC – preço do açúcar brasileiro em logaritmo. No caso do modelo que analisa o preço internacional do açúcar, a variável que representa essa commodity se chamará: LACI.

LAH – o preço do etanol brasileiro em logaritmo;

LPET – o preço do petróleo em logaritmo;

FLEX – variável dummy indicando a introdução dos veículos flex no Brasil.

### 5.3. Dados

Para o presente estudo, a relação entre os mercados de commodities alimentares e etanol é dada através dos seus preços. A commodity alimentar a ser estudada será o açúcar no mercado nacional e internacional. O preço do álcool utilizado é o preço mensal de álcool hidratado no estado de São Paulo no período de fevereiro de 1999 até dezembro de 2007 em R\$/l, extraído do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). O preço do açúcar é o açúcar cristal encontrado também nos meses de fevereiro 1999 até dezembro de 2007 em R\$/50Kg, extraído também do CEPEA. Para o preço do açúcar internacional foi utilizada a série de preço futuro médio do açúcar cru, da bolsa de Nova Iorque de mesma periodicidade, cotado em centavos por libra e devidamente transformado em reais pela taxa de cambio comercial média.

O preço do petróleo é o preço da cotação internacional em dólar por barril na mesma periodicidade mensal, adquirido no IPEADATA, e transformado em reais pela taxa de câmbio média mensal para compra. As variáveis no modelo foram todas transformadas em logaritmo na base neperiana.

## 6. Resultados e Discussões

### 6.1. Impactos dos Mercados de Açúcar e Álcool no Brasil.

A seguir são mostrados os procedimentos econométricos do modelo empírico do mercado sucroalcooleiro. O primeiro teste apresentado é o Dickey Fuller Aumentado (ADF). O número de defasagens do modelo foi determinado pelo critério de escolha entre os testes Ljung Box, Multiplicador de Lagrange e Akaike-Swartz (Enders, 2004). Observa-se a partir da Tabela 4 que as variáveis do logaritmo do preço de açúcar e do logaritmo do preço do açúcar internacional são integradas de ordem 1. Já as variáveis preço do etanol e do petróleo mostraram-se estacionárias nos anos estudados. Como no modelo existem variáveis estacionárias, não é necessário a identificação de vetores de cointegração no sistema..

Tabela 4 - Teste de Raiz Unitária. Para as Variáveis Seleccionadas

Variável em Logaritmo	Estatística $\tau$	Valor Crítico*	Número de defasagens
Preço do Açúcar	-2,45854	-3,41	1
Preço do Etanol	-3,54052	-3,41	1
Preço do Petróleo	-3,75623	-3,41	0
Preço Internacional do Açúcar	-2,91854	-3,41	1

Fonte: Elaboração própria

\* o valor crítico refere-se ao modelo com tendência e com intercepto

A ordem de defasagem do modelo que considera apenas o preço do açúcar doméstico foi determinada pelo teste da razão do coeficiente de máxima verosimilhança. O teste mostrou que o número apropriado de defasagens do modelo é 5<sup>14</sup>.

O teste de causalidade de Granger (Tabela 5) aponta para bi-causalidade entre os preços do açúcar e do álcool. Este resultado é coerente com o que foi estudado, visto que existe a competição entre esses mercados de acordo com as características da demanda. Além disso, o preço do petróleo causa no sentido de Granger os preços de açúcar e do álcool, mas esses dois preços não determinam a cotação do petróleo. Isso

<sup>14</sup> A estatística do teste foi de 19,735 com valor crítico de 0,019, confirmando a presença de 5 defasagens no modelo.

mostra uma influência do preço do petróleo na relação do mercado de açúcar e etanol. O resultado sugere a estimação de um modelo do tipo quase-VAR.

Tabela 5 - Teste de Causalidade de Granger entre o Preço do Etanol, do Açúcar e do Petróleo (5 lags).

Variáveis Explicativas	Variáveis Dependentes					
	Preço do Açúcar		Preço do Etanol		Preço do Petróleo	
	Estatística F	P-valor	Estatística F	P-valor	Estatística F	P-valor
Preço do Açúcar	43,7002	0,0000	2,0599	0,078402	1,1227	0,354598
Preço do Etanol	3,1884	0,01096	20,1110	0,00000	1,9458	0,095140
Preço do Petróleo	4,7859	0,00066	3,1541	0,011644	67,732	0,00000

Fonte: elaboração própria

A estimação do quase-VAR (Tabela 9 no Apêndice) mostra que o preço do petróleo possui influência no preço do açúcar a partir da primeira e da quinta defasagem com 5% e 1% de significância e a relação é direta. Já o preço do álcool é afetado apenas na quinta defasagem com menos de 1% de significância, apresentando também uma relação direta. Isso mostra, para o preço do etanol, um efeito relativamente retardado. Já para a variável dummy, que representa a introdução dos veículos *flex* no Brasil, apresenta um impacto negativo no preço do etanol. Esse resultado não era esperado, pois a introdução dos veículos bicombustíveis no Brasil ocasionou em um crescimento da demanda interna por etanol e o preço deste deveria subir. Entretanto, uma análise da literatura mostrou que no ano 2003 – 2007, com a fabricação dos veículos *flex* e com o aumento gradual e constante do preço do petróleo, houve uma espetacular recuperação do mercado de etanol, que beneficiou o preço do etanol relativo à gasolina (em média R\$2,50/l e R\$1,30/l, respectivamente), caracterizando uma competição do etanol hidratado com a gasolina (Kamimura e Sauer, 2008). Além disso, Giesecke et al (2007) afirmam que o crescimento doméstico da demanda – via aumento da produção de veículos *flex*, é acompanhado por um rápido crescimento nos setores de produção de etanol, caracterizando assim uma resposta rápida da oferta de etanol, fazendo com que o preço deste diminua.

A decomposição da variância do erro de previsão para as variáveis preço do etanol, preço do açúcar e preço do petróleo é mostrada na Tabela 6. A primeira coluna representa um choque nas variáveis dependentes. No 8º mês, a variação do preço do

etanol é explicada por seus valores passados em 63%, apontando nesse horizonte de previsão, uma trajetória autoregressiva. Além disso, nesse mesmo período, o preço do açúcar e o preço do petróleo explicam 20,4% e 17% da variância do erro de previsão do preço do etanol. No 16º período, no entanto, o preço do petróleo torna-se predominante na explicação da variação do preço do etanol, com aproximadamente 57% da variância, e o preço do açúcar explica 10% da variância do erro de previsão do etanol. Com esse resultado, o preço do etanol varia, principalmente, devido a fatores inerentes ao próprio mercado, sendo influenciado, em menor proporção, pelo preço do açúcar. Porém, em horizontes mais longos, ele é influenciado por forças exógenas, representadas pelo preço do petróleo.

Para o preço do açúcar, no primeiro mês a influência da variação é também explicada pela trajetória autoregressiva com 84%, seguido do preço do açúcar com 15%. Entretanto, no 24º mês, a variância do preço do açúcar passa a ser influenciada pelo preço do petróleo com 61%. Após o 8º mês, a preponderância da explicação das variações do preço do açúcar passa a ser atribuída ao preço do petróleo. Isso sugere que nos primeiros horizontes de previsão, a variância do erro de previsão do preço de açúcar é explicada por características do mercado açucareiro, sendo este também influenciado pelo preço do etanol, em menores proporções. A redução da influência no preço do álcool pode ser explicada pela resposta imediata da oferta ao aumento do preço do açúcar.

No preço do petróleo, a variância desta commodity é fortemente explicada pela sua trajetória autoregressiva, indicando que esta variável exerce influência sobre os preços do mercado sucroalcooleiro, mas não é influenciada pelo preço destes mercados. O resultado corrobora com o teste de causalidade de Granger, o qual indica que a variável do preço do petróleo é exógena.

Tabela 6 - Decomposição da Variância das Variáveis Seleccionadas

Variáveis em Logaritmo	Mês	Preço do Etanol	Preço do Açúcar	Preço do Petróleo
Preço do Etanol	1	100	0	0
	4	84,686	15,218	0,096
	8	63,428	20,382	16,19
	12	40,35	11,994	47,657
	16	33,981	10,25	55,769
	20	32,722	9,986	57,291
	24	31,504	9,726	58,77
Preço do Açúcar	1	15,327	84,673	0
	4	6,855	83,144	10,002
	8	8,427	65,815	25,758
	12	9,577	42,834	47,589
	16	8,393	35,691	55,916
	20	7,699	33,487	58,815
	24	7,311	31,628	61,06
Preço do Petróleo	1	0,445	0,7	98,855
	4	0,445	0,7	98,855
	8	0,445	0,7	98,855
	12	0,445	0,7	98,855
	16	0,445	0,7	98,855
	20	0,445	0,7	98,855
	24	0,445	0,7	98,855

Fonte: Elaboração própria

A decomposição da variância para o mercado doméstico sucroalcooleiro mostrou que, nos primeiros períodos de análise, as influências das variações no preço do açúcar e álcool são determinadas pelos próprios preços domésticos. Entretanto, nesse mesmo período, o preço de açúcar possui maior influência sobre o preço do etanol do que vice versa, mostrando a preferência do produtor pelo mercado de açúcar e indicando que a demanda crescente por biocombustíveis, refletida pelo aumento do preço do etanol, possui pouca influência na variação do preço do açúcar. Nos meses posteriores, o mercado sucroalcooleiro torna-se mais suscetível a variações do preço do petróleo.

Para examinar com mais propriedade a relação entre os preços das commodities estudadas, é necessário analisar a função impulso resposta. Nota-se na Figura 12, que um choque de um desvio padrão no resíduo do preço do etanol, causa uma variação positiva de quase 0,5 desvios padrões no preço do açúcar, indicando o efeito de substituição entre açúcar e álcool. Isso pode sugerir que, quando o preço do álcool aumenta, uma maior proporção de cana-de-açúcar é destinada para produção de álcool, fazendo com que o preço do açúcar aumente nos períodos iniciais, devido à redução da oferta de açúcar. O aumento do preço do açúcar incentiva a produção de açúcar no

mercado, contribuindo para a queda do preço do açúcar, até alcançar a estabilidade no 13º mês. Por último, o impacto de um desvio padrão do preço do álcool no petróleo é nulo.

A Figura 13 mostra a dinâmica dos preços do etanol e do petróleo quando ocorre um choque no preço do açúcar. A Figura mostra que um choque de um desvio padrão no preço do açúcar induz a um aumento de aproximadamente 0,2 desvios padrões no preço do álcool. Porém, essa mudança ocorre no primeiro período após o choque, visto que o preço do açúcar não tem nenhum impacto contemporâneo no preço do álcool. O que se percebe também, é que quando ocorre o aumento no preço do açúcar, a resposta do mercado de álcool é de aumento de preço, até o 4º mês, onde o preço do etanol começa a crescer a taxas decrescentes, até alcançar a estabilidade. O resultado sugere que quando ocorre um aumento no preço do açúcar, o mercado de álcool responde com aumento da oferta mais lento com relação ao ocorrido na análise anterior, na qual o aumento no preço do açúcar, causado pelo choque no preço do álcool, é respondido mais rapidamente pela oferta.

Na Figura 14, o choque de um desvio padrão no preço do petróleo resulta em uma variação quase nula no preço do etanol e uma variação de 0,4 desvios padrão no preço do açúcar. No 4º mês, todavia, os preços de açúcar e álcool variam positivamente e se estabilizam em, aproximadamente, 0,4 e 0,6 desvios padrões, a partir do 14ª mês. Este resultado condiz com o que foi visto na decomposição da variância, na qual o preço do petróleo tem uma influência dominante do mercado sucroalcooleiro após vários períodos subseqüentes ao choque. Esse resultado sugere que o preço do petróleo pode não afetar os mercados de açúcar e álcool através da demanda por biocombustíveis no início do período após o choque.

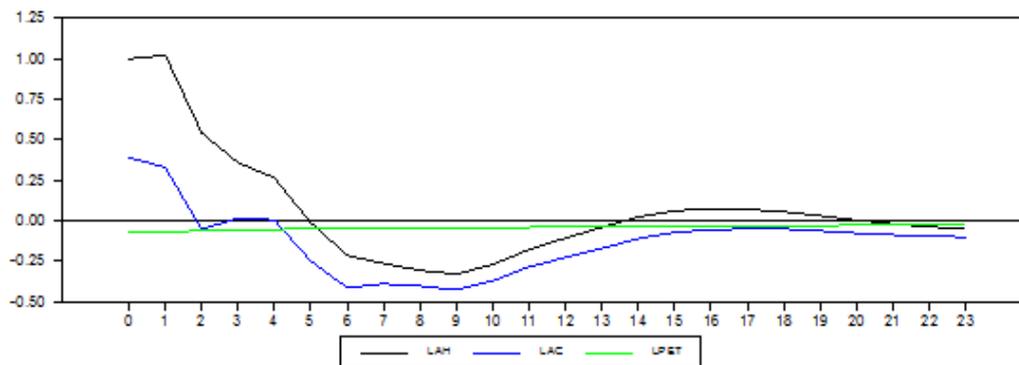


Figura 12: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Etanol (LAH) nas Variáveis Preço do Açúcar (LAC) e Preço do Petróleo (LPET)  
Fonte: Elaboração própria

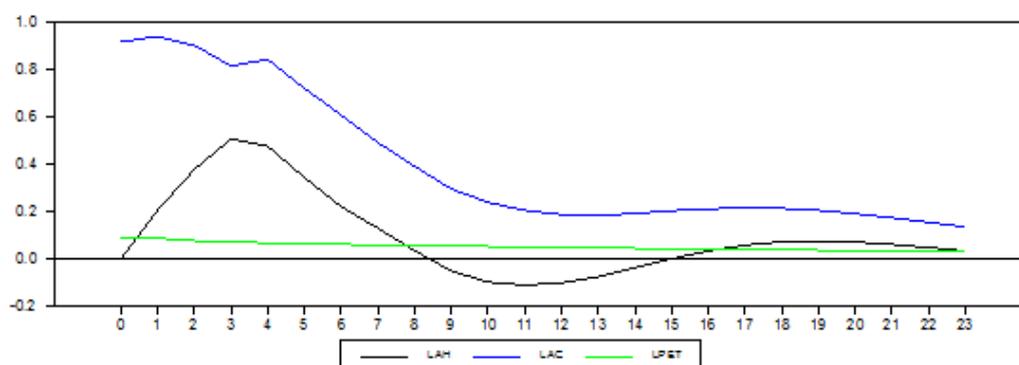


Figura 13: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Açúcar nas Demais Variáveis.  
Fonte: Elaboração própria

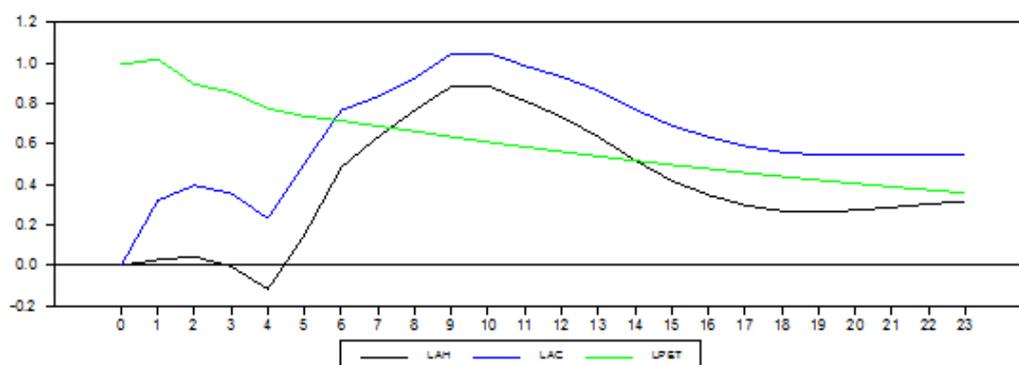


Figura 14: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Petróleo nas Demais Variáveis  
Fonte: Elaboração própria

## 6.2. Impactos no Preço Internacional do Açúcar

Baseado no referencial teórico, a representatividade do Brasil no mercado mundial de açúcar frente aos grandes produtores, torna-o como principal agente no mercado mundial dessa commodity. Como o principal exportador de açúcar, o Brasil é peça importante na determinação do preço mundial do açúcar. O *trade off* entre a produção de açúcar e álcool, caracterizada pela produção dual das usinas de cana-de-açúcar, pode influenciar a disponibilidade de açúcar no mercado mundial e, assim, o preço internacional do açúcar.

Com relação ao tratamento econométrico dos dados, a Tabela 4 mostrou que o preço internacional do açúcar é integrado de primeira ordem. O teste da diferença de defasagens mostrou-se significativo para 5 defasagens<sup>15</sup>. O teste de causalidade de Granger (Tabela 7) também aponta para a bi-causalidade do preço do açúcar e etanol brasileiro. É visto também que o açúcar e o álcool são influenciados pelo preço do petróleo, e que este não é influenciado por aqueles preços. Esse resultado sugere que seja estimado um modelo do tipo quase-VAR com as variáveis do preço do etanol, preço internacional do açúcar e preço do petróleo.

Tabela 7 - Teste de Causalidade de Granger entre o Preço do Etanol, do Açúcar Internacional e do Petróleo (5 lags).

Variáveis explicativas	Variáveis dependentes					
	Preço Internacional do Açúcar		Preço do Etanol		Preço do Petróleo	
	Estatística F	P-valor	Estatística F	P-valor	Estatística F	P-valor
Preço Internacional do Açúcar	114,2472	0,00000	5,0054	0,0004566	1,7167	0,1394782
Preço do Etanol	3,1444	0,01184	32,5710	0,0000000	2,0326	0,0821226
Preço do Petróleo	2,2509	0,05651	2,8873	0,0186257	71,2947	0,0000000

Fonte: Elaboração Própria

<sup>15</sup> estatística de  $\chi^2$  de 17,327, com significância de 0,0438

A estimação do modelo quase-VAR é mostrada na Tabela 10 no Apêndice. Segundo a Tabela, o preço do petróleo possui um efeito direto na determinação do preço internacional do açúcar após duas defasagens. Esse resultado é semelhante ao visto no primeiro modelo. Porém, o impacto do preço do petróleo no preço do etanol é visto apenas na quinta defasagem. O preço do etanol afeta negativamente o preço internacional do açúcar na primeira defasagem, refletindo uma resposta quase instantânea da oferta de açúcar. Este resultado também é semelhante ao primeiro modelo, no que se refere ao sinal dos coeficientes. Ademais, sobre os impactos da introdução dos veículos bicompostíveis são os mesmos do modelo anterior, com exceção do preço internacional do açúcar, que não é afetado pela variável dummy. O efeito nulo da variável dummy no preço do açúcar é esperado, pois a determinação do preço dessa commodity pode estar fortemente relacionada com variáveis exógenas ao modelo. A estrutura autoregressiva é de 2 defasagens para o preço do petróleo. Com isso, espera-se encontrar semelhanças nas dinâmicas entre os preços estudados no primeiro modelo.

Na decomposição da variância (Tabela 8), o preço internacional mostra uma preponderância da própria variável na explicação de sua variância. Ou seja, o preço internacional do açúcar, possui uma trajetória praticamente autoregressiva nos horizontes de previsão. O preço do etanol explica aproximadamente 5% da variância do erro de previsão do preço internacional do açúcar. No 24º mês, o preço do petróleo possui uma razoável influência na variação do preço do açúcar com aproximadamente 30%. O resultado sugere que outros fatores ligados ao mercado mundial de açúcar é que determinam a variação no preço internacional do açúcar. Para o preço de etanol, a determinação da variância do mesmo também possui uma trajetória autoregressiva nos primeiros meses de previsão. Entretanto, no 24º mês a influência maior é dada pelo preço do petróleo com mais de 50%, seguido do preço do etanol com 25% e do preço do açúcar com 20% da variância do etanol, sugerindo, pois, que o preço internacional do açúcar possui maior influência no mercado do etanol do que vice-versa. Por fim, a variação do preço do petróleo é influenciada, em sua maioria, por seus valores defasados ao longo dos meses. O resultado da decomposição da variância indica que o aumento da demanda dos biocombustíveis, que é refletida pelo choque do preço do etanol, não afeta significativamente a variação do preço internacional do açúcar.

Com relação ao que foi encontrado no modelo anterior, observa-se que o preço internacional do açúcar possui maior influência na explicação da variância do preço do etanol. Este resultado indica que o produtor no mercado sucroalcooleiro, prefere produzir o açúcar para exportação, mesmo que ocorra um choque no preço do etanol. Isso ocorre devido à importância do país no mercado mundial, visto que dois terços do açúcar produzido no país são exportados (Datagro, 2007). O resultado também sugere que o mercado de açúcar brasileiro mostrou-se mais consolidado no cenário nacional e internacional<sup>16</sup>.

Tabela 8 - Decomposição da Variância (Modelo com Preço Internacional do Açúcar)

	Mês	Preço Internacional do Açúcar	Preço do Etanol	Preço do Petróleo
Preço Int. do Açúcar	1	100,000	0,000	0,000
	4	94,596	4,140	1,264
	8	89,582	5,307	5,111
	12	80,082	5,257	14,662
	16	75,007	5,205	19,788
	20	69,337	5,103	25,560
	24	65,296	4,994	29,710
Preço do Etanol	1	0,012	99,988	0,000
	4	19,227	77,103	3,670
	8	36,337	49,696	13,967
	12	23,851	32,017	44,132
	16	21,207	27,657	51,136
	20	20,955	26,564	52,482
	24	20,571	25,480	53,949
Preço do Petróleo	1	12,563	2,295	85,142
	4	12,563	2,295	85,142
	8	12,563	2,295	85,142
	12	12,563	2,295	85,142
	16	12,563	2,295	85,142
	20	12,563	2,295	85,142
	24	12,563	2,295	85,142

Fonte: Elaboração própria

Por fim, a função impulso resposta, que mostra a dinâmica das variáveis, indica que, na Figura 15, um choque de um desvio padrão no preço do álcool causa um decréscimo de 0,4 desvios padrões, no preço do açúcar apenas a partir do 2º mês, com este alcançando a estabilidade a partir do 7º mês. Esse resultado indica que o preço do açúcar responde a um aumento do preço do álcool com um decréscimo no preço internacional. O possível fundamento para essa dinâmica é que os produtores antecipam suas expectativas quanto ao aumento do preço do etanol, aumentando quase que

<sup>16</sup> De fato, as exportações brasileiras de açúcar possuem maior influência no produto e no emprego do país com relação às exportações de álcool (Costa et al, 2006).

imediatamente a oferta de açúcar. Esse resultado encontrado é semelhante ao encontrado por Balcombe e Rapsomanikis (2008). Para o choque no preço do açúcar internacional (Figura 16), o choque de um desvio padrão causa efeito nulo no preço do álcool, porém este responde logo no segundo mês atingindo 0,6 desvios, até se estabilizar no 9º mês. A dinâmica é praticamente a mesma do exercício anterior.

Para o choque de um desvio padrão no preço do petróleo (Figura 17) ocasiona um pequeno impacto negativo no preço das commodities sucroalcooleiras, logo após o 4º mês os preços de açúcar e álcool variam positivamente, até se estabilizar em 0,3 desvios padrões.

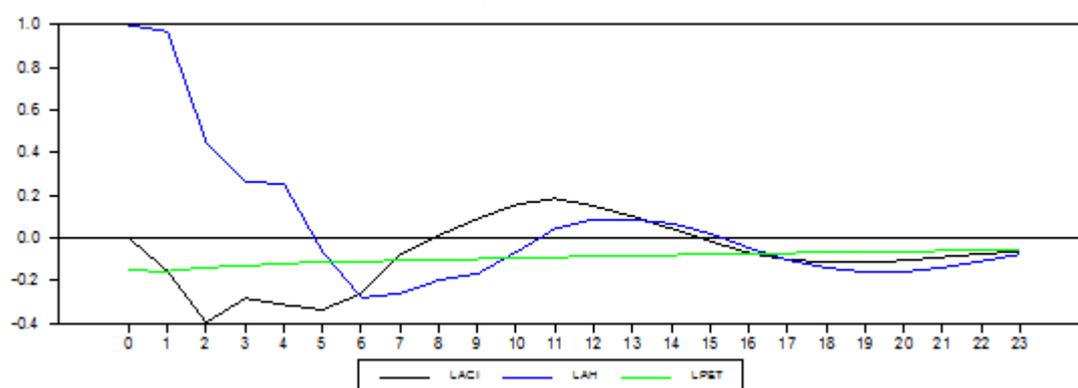


Figura 15: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço de Álcool (Modelo com Preço Internacional no Açúcar)

Fonte: Elaboração própria

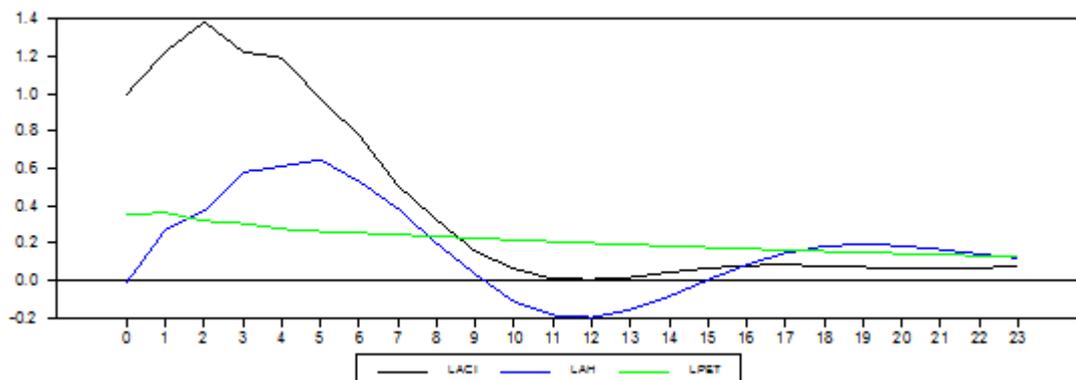


Figura 16: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço Internacional do Açúcar.

Fonte: Elaboração própria

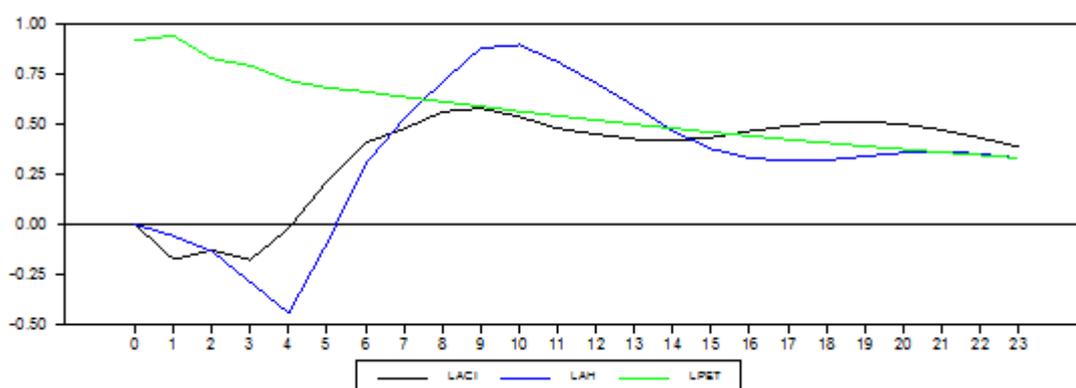


Figura 17: Função Impulso Resposta Representando o Choque no Preço do Petróleo

Fonte: Elaboração própria

Os resultados indicam que, através da decomposição da variância e impulso resposta, o preço do açúcar internacional é determinado pela sua trajetória autoregressiva e o preço do etanol possui pequena influência sobre esse preço. Isso demonstra que a produção de açúcar esteve consolidada desde a época da desregulamentação e o advento dos biocombustíveis, possivelmente não possui influência significativa sobre o preço internacional dessa commodity. No mercado doméstico a determinação do preço do açúcar é influenciada pelo preço do etanol. Entretanto, na determinação do preço internacional do açúcar, o preço do etanol não tem influência significativa. Isso demonstra que o crescimento da demanda por etanol no Brasil é um fator de importância pouco significativa no mercado nacional de açúcar, e de importância quase nula no mercado internacional do açúcar.

## 7. Conclusões

O presente trabalho objetivou analisar o impacto do crescimento da demanda de etanol no preço do açúcar. Para isso utilizou-se a metodologia de Vetores Autoregressivos (VAR), a fim de analisar a relação de causalidade entre o preço do álcool hidratado (etanol), o preço do açúcar cristal no mercado nacional e internacional e o preço do petróleo, que é o determinante da dinâmica do setor. A preocupação com o meio ambiente e com a substituição de combustíveis fósseis para a utilização de fontes renováveis de energia elevou a demanda internacional pelo etanol, principalmente o brasileiro, que possui menor custo de produção do mundo. Aliado também a uma demanda interna crescente devido ao uso de veículos bicombustíveis, culminando em uma alta no preço do etanol em 2006. Com a alta do preço da commodity, em teoria, mais matéria-prima é destinada para a produção de etanol do que para a produção de açúcar. Ademais, o Brasil como o principal exportador de açúcar, pode prejudicar o fornecimento desse bem para o mercado mundial, através da redução da oferta dessa commodity. Por isso, a análise se dividiu em estudar os impactos do aumento da demanda por biocombustíveis no mercado interno e mundial de açúcar.

A revisão de literatura e o teste de Causalidade de Granger mostraram que existe uma endogeneidade entre os preços de açúcar e etanol no Brasil. Entretanto os resultados também apontaram que o preço do petróleo determina os preços do açúcar e do etanol, mas não é determinado por estas variáveis. Esse resultado sugere a estimação do VAR com o petróleo como variável exógena (quase-VAR). Os resultados da estimação do Quase-VAR sugerem que, de fato, existe uma relação dinâmica entre os preços do açúcar e do etanol e que o preço do petróleo determina essa dinâmica do mercado sucroalcooleiro apenas no longo prazo. A variável *dummy* que representa a introdução dos veículos *flex* na frota de automóveis brasileiros impactou negativamente no preço do etanol. Esse resultado sugere que a introdução dos veículos *flex*, dado que o preço do petróleo tem crescido nos últimos anos, acirrou a competição entre o consumo da gasolina e do álcool hidratado e beneficiou o preço desta commodity.

Os resultados para o mercado sucroalcooleiro também sugerem que a dinâmica dos mercados de açúcar e álcool é ditada, somente após alguns meses, pelo preço do petróleo. Porém, nos primeiros períodos de análise, a variação do preço do açúcar e do etanol é influenciada, em sua maioria, por fatores internos do mercado sucroalcooleiro,

indicando uma blindagem do setor aos choques do preço do petróleo. O choque de preço dessa variável acarreta em um aumento de preço das commodities sucroalcooleiras em períodos posteriores. No curto prazo, o preço do açúcar doméstico é pouco influenciado pela crescente demanda de etanol. No longo prazo, porém, o preço do petróleo pode influenciar o aumento da demanda por biocombustíveis, refletindo assim no aumento do preço do etanol e, por conseguinte no preço do açúcar.

Para o mercado internacional do açúcar a determinação do preço dessa commodity é pouco atribuída ao preço do petróleo e ao preço do etanol, podendo-se concluir que outros fatores como estoques e mercados futuros podem determinar o preço internacional do açúcar. Os resultados do modelo indicam que, no curto prazo, os produtores preferem produzir açúcar para exportação a produzir etanol para o mercado interno, visto que o mercado de etanol para exportação; apesar de grande potencial, é considerado residual. Ademais os resultados mostram que a crescente produção de biocombustíveis é um fenômeno recente e que não possui ainda impactos significativos, no curto prazo, no preço do açúcar.

Esse estudo apresenta limitações, pois é analisado apenas o setor sucroalcooleiro, representando mercado de biocombustíveis e alimentos (etanol e açúcar). De fato, o açúcar é um dos alimentos essenciais que compõem a cesta básica e, além disso, é insumo para muitos produtos finais. Então, necessita-se saber se o crescimento da demanda por etanol no Brasil afeta o preço dos outros alimentos, focando assim no efeito indireto da expansão da cana-de-açúcar sobre outras culturas alimentares. Para isso, é preciso de uma investigação mais aprofundada sobre a causalidade do preço do etanol no preço de outros alimentos essenciais como soja, arroz, feijão, milho, carne, etc.. É necessário analisar também outras fontes de biocombustíveis, como a soja, bem como o milho norte-americano e a canola européia a fim de comparar resultados com o caso brasileiro.

## Referências

- ANFAVEA (2009), <http://www.anfavea.com.br/> (acessado em janeiro de 2009)
- Balcombe, K.; Rapsomanikis, G. Bayesian Estimation and selection of nonlinear vector correction models: the case of the sugar-ethanol-oil nexus in Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**. 90(3) (August 2008): 658–668
- Babcok, B. Breaking the Link between Food and Biofuels. Briefing Paper 08-BP 53. July 2008. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa State University
- Bake, J.D. van den Wall.; Junginger, M.; Faaij, A.; Poot, T. Walter, A. Explaining the experience curve: Cost reductions of Brazilian ethanol from sugarcane. **Biomass and Bioenergy** (2008), doi:10.1016/j.biombioe.2008.10.006.
- Banco Mundial, World Bank. 2008. [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org).
- Banse, M.; Meijl, H.; Tabeau, A.; Woltjer, G. Will EU biofuel policies affect global agricultural markets? **European Review of Agricultural Economics** Vol 35 (2) (2008) pp. 117–141
- Bichara, L. Produção vai Crescer 71% em Cinco Anos. Valor Econômico. N.103490. 18/05/2007
- Cabrini, M. F. e Marjotta-Maistro, M. C. Mercado internacional de álcool: os recentes programas de uso do produto como combustível. *Agroanalysis*, p. 36 - 36, 07 mar. 2007
- Camargo, A. M. M. P.; Caser, D. V.; Camargo F. P.; Olivette, M. P. A.; Sachs, R. C. C.; Torquato, S. A. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**. São Paulo. V. 38. N.3 Mar. 2008.
- Carvalho, M. A. Os números da crise dos alimentos. **Análise de Indicadores do Agronegócio**. Vol 3. Nº 7. Julho 2008.
- Costa, C. C. ; Burnquist, H. L. ; Guilhoto, J.J.M. . Impacto de alterações nas exportações de açúcar e álcool nas regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste sobre a economia do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, p. 611-629, 2006.
- Cunha, R. O Intrincado Quebra-Cabeças da Crise dos Alimentos. *Revista ComCiência – SBPC*. No 99. Junho 2008. Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=36&id=431&tipo=0> (Acessado em julho de 2008).

- Datagro (2007), [www.datagro.com.br](http://www.datagro.com.br) (Acessado em janeiro de 2009)
- Diniz, T. B. A liderança do Brasil no mercado mundial de álcool: uma análise prospectiva. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**. Nº 97, Outubro - Dezembro de 2008.
- Elobeid, A.; Tokgoz, S.; Hayes, D. J.; Babcock, B. A.; Hart, C. E.; The Long-Run Impact of Corn-Based Ethanol on the Grain, Oilseed, and Livestock Sectors: A Preliminary Assessment. **CARD Briefing Paper 06-BP 49**. November 2006.
- Elobeid, A.; S. Tokgoz. (2006). Removal of U.S. ethanol domestic and trade distortions: impact on U.S. and Brazilian ethanol markets. CARD Working Paper Series 06-WP 427, October, Center for Agricultural and Rural Development, Ames, IA, 2006
- Enders, W. **Applied Econometric Time Series**. Wiley, 1995.
- Enders, W. **RATS Handbook for Econometric Time Series**. Willey, 1996.
- Engle, R.; Granger, C. 1987. Cointegration and error correction: representation, estimation and testing. **Econometrica**, 55: 251-276.
- Epplin, F. M.; CLARK, C. D.; Roberts, R. K.; Hwang, S. Challenges to the development of a dedicated energy crop. **American Journal of Agricultural Economics**, 89 (Number 5, 2007): 1296–1302
- Fabiosa, J. F.; Beghin J. C.; Dong F.; Elobeid, A; Tokgoz S.; Yu T. Land Allocation Effects of the Global Ethanol Surge: Predictions from the International FAPRI Model. Iowa State University, Department of Economics Working Papers Series. Working Paper # 08005. March 2008
- FAO 2008, Food and Agriculture Organization, <http://www.fao.org>
- Feng, H.; Babcock, B. A. Impacts of Ethanol on Planted Acreage in Market Equilibrium. Working Paper 08-WP 472. June 2008. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa State University
- Ferrari, R. A.; Oliveira, V. S.; Scabio, A. Biodiesel de soja — Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova** vol.28 no.1 São Paulo Jan./Feb. 2005.
- FMI. 2006 World Economic Outlook 2006, Chapter 5: The boom in commodity prices: Can it last?
- F.O. Lichts. (2006). “Dry Weather Threat to Sugar and Alcohol in Brazil.” **International Sugar and Sweetener Report** 138(20): 353-358, February 21.

- Gallagher, P.; G. Schamel, H. Shapouri, and H. Brubaker. 2006. The international competitiveness of the U.S. corn-ethanol industry: a comparison with sugar-ethanol processing in Brazil. **Agribusiness**, 22 (1): 109-134.
- Giesecke, J. A.; Horridge J. M.; Scaramucci, J. A. The Downside of Domestic Substitution of Oil and Biofuels: Will Brazil Catch the Dutch Disease? Centre of Policy Studies and the Impact Project. General Paper No. G-169. December, 2007.
- Giles, J. A.; Williams, C. L. (2000) – “Export-led Growth: A Survey of the Empirical Literature and Some Noncausality Results, Part 1” Econometrics Working Paper, EWP0001.
- Goes, T.; Marra, R.; Silva, G. S. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**. Ano XVII – Nº 2 – Abr./Maio/Jun. 2008. Págs. 39-51.
- Goldemberg, J.; Coelho, S. T.; Lucon, O. How adequate policies can push renewables. **Energy Policy** 32 (2004b) 1141–1146
- Goldemberg, J.; Coelho, S. T.; Nastari, P. M.; Lucond, O. Ethanol learning curve—the Brazilian experience. **Biomass and Bioenergy**. 26 (2004a) 301 – 304
- Gujarati, D. (2000) – **Econometria Básica** 3<sup>a</sup> ed., MAKROW Books, São Paulo.
- Hamelinck, C.N., and A.P.C. Faaij. 2006. Outlook for advanced biofuels. **Energy Policy**. 34:3268–83.
- Ignaciuk, A.; Vohringer, F.; Ruijs, A.; van Ierland, E.C. Competition between biomass and food production in the presence of energy policies: a partial equilibrium analysis. **Energy Policy** 34 (2006) 1127–1138
- Johansen, S.; Juselius, K. 1990. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration — with applications to the demand for money. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, 52: 169-210.
- Johnston, J; e Dinardo, J. **Métodos Econométricos**, 4.<sup>a</sup> ed., Editora McGraw-Hill de Portugal, Amadora, 2001
- Kamimura, A.; Sauer, I. L. The effect of flex fuel vehicles in the Brazilian light road transportation. **Energy Policy** 36 (2008) 1574–1576
- Martines-Filho, J.; Burnquist, H. L. e Vian, C. E. F. Bioenergy and the Rise of Sugarcane-Based Ethanol in Brazil. CHOICES: The Magazine of Food, Farm, and Resource Issues. Publication of the American Agricultural Economics Association (AAEA). 2nd Quarter 2006.21 (2): 91-96.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2008. [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br) .

- Mitchell, D. 2008. A Note on Rising Food Prices. World Bank, Washington, DC
- Mitchell D. Sugar policies: an opportunity for change. In: Aksoy A, Beghin J, editors. Global agricultural trade and developing countries. Washington DC, USA: World Bank; 2005.
- Moraes, M. A. F. D. **Desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. São Paulo: Caminho Editorial, 2000.
- Moreira, J. R.; Goldemberg, J. The alcohol program. **Energy Policy** 27 (1999) 229-245
- Müller, A.; Schmidhuber, J.; Hoogeveen J.; Steduto P. Some insights in the effect of growing bio-energy demand on global food security and natural resources. In: International Conference: “Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries”, Hyderabad, India, 28-31 January 2007.
- OECD. Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels. Working Paper. Feb, 2006.
- Peters, J.; Thielmann, S. Promoting Biofuels: Implications for Developing Countries. Ruhr Economic Papers. n. 38. Ruhr-Universität Bochum (RUB), Department of Economics. Germany, 2007.
- Rajagopal, D.; Zilberman, D. Review of environmental, economic and policy aspects of biofuels. Policy Research Working Paper, 4341. The World Bank. September 2007.
- Rosillo-Calle, F.; Cortez, L. A. B. Towards PROALCOOL II—A review of the Brazilian bioethanol programme. **Biomass and Bioenergy** Vol. 14, No. 2, pp. 115–124, 1998
- Sachs, Ignacy. Os biocombustíveis estão chegando à maturidade. Democracia Viva, No. 29, Dez/Out. 2005.
- Schmidhuber, J. Biofuels: an emerging threat to Europe’s food security? Notre Europe, Policy Paper. n. 27. May 2007.
- Shikida, P.F.A.; Bacha, C.J.C. Uma análise econométrica preliminar das ofertas de açúcar e álcool paranaenses. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v.54, n.1, p. 21-32, jan/jun. 2007.
- Silva, C. M. S; Almeida, E. L. F.; Formação de um mercado internacional de etanol e suas inter-relações com os mercados de petróleo e açúcar. In: CBE, 16 a 18 de agosto de 2006, Rio de Janeiro.
- Smeets, E.; Junginger, M.; Faaij, A.; Walter, A. Dolzan, P. Turkenburg, W. The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, 32 (2008) 781– 813

- Souza, G. S.; Alves, E.; Gomes, E. G.; Gazzola, R.; Marra, R. Substituição de culturas uma abordagem empírica envolvendo cana-de-açúcar, soja, carne bovina e milho. **Revista de Política Agrícola**. Ano XVI – Nº 2 – Abr ./Maio/Jun. 2007
- Tat Tan, K.; Lee, K. T.; Mohamed, A. R. Role of energy policy in renewable energy accomplishment: The case of second-generation bioethanol. *Energy Policy* 36 (2008), p. 3360-3365.
- Tetti, L. M. R. Protocolo de Kyoto: Oportunidades para o Brasil com Base em seu Setor Sucroalcooleiro; Um Pouco da História da Questão “Mudanças Climáticas e Efeito Estufa”. In: MORAES, Márcia Azanha Ferraz Dias de; SHIKIDA, Pery Francisco Assis (Orgs). **Agroindústria Canavieira no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2002. 367p. Cap. 9, 199-213.
- Tokgoz, S. e Elobeid, A. An analysis of the link between ethanol, energy, and crop markets. Iowa State University Working Paper 06-WP 435. 2006.
- Tokgoz, S., Elobeid, A.; J. Fabiosa, D.J. Hayes, B.A. Babcock, C.E. Hart, T. Yu, F. Dong, J.C. Beghin. 2007. Emerging biofuels: outlook of effects on U.S. grain, oilseed, and livestock markets. **CARD Staff Report** 07-SR 101, May, Center for Agricultural and Rural Development, Ames, IA.
- UNICA 2008 [www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)
- USDA (2007), Sugar and Sweeteners Outlook, SSS-249, June 4, Economic Research Service.
- Von Lampe. M (2006). Agricultural Market Impacts of Future Growth in the Production of Biofuels. Working Paper on Agricultural Policies and Markets, Directorate for Food, Agriculture and Fisheries, Committee on Agriculture, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).
- Weidenmier, M. D.; Davis, J. H.; Diaz, R. A. IS Sugar Sweeter at the Pump? The Macroeconomic Impact of Brazil’s Alternative Energy Program. NBER Working Papers. Working Paper 14362. September 2008.
- Zhang Z.; Vedenov D.; Wetzstein, M. Can the U.S. ethanol industry compete in the alternative fuels market? **Agricultural Economics**. Volume 37, Issue 1, Date: July 2007, Pages: 105-112

## APÊNDICE

Tabela 9 - Estimação do Modelo de Vetores Autoregressivos\*

<b>Equação 1 – Variável Dependente: Preço do Açúcar</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	-0,835372448	0,327943786	-2,54730	0,01085589
FLEX	-0,160772680	0,046807230	-3,43478	0,00059303
Preço do Açúcar <sub>t-1</sub>	0,995540212	0,105538761	9,43293	0,00000000
Preço do Açúcar <sub>t-2</sub>	-0,035946307	0,141683545	-0,25371	0,79972084
Preço do Açúcar <sub>t-3</sub>	0,036187739	0,137430687	0,26332	0,79230681
Preço do Açúcar <sub>t-4</sub>	0,103679326	0,134435792	0,77122	0,44057762
Preço do Açúcar <sub>t-5</sub>	-0,164002060	0,105100673	-1,56043	0,11865871
Preço do Etanol <sub>t-1</sub>	-0,033537239	0,093197524	-0,35985	0,71895843
Preço do Etanol <sub>t-2</sub>	-0,289380283	0,130583243	-2,21606	0,02668740
Preço do Etanol <sub>t-3</sub>	0,375011737	0,137481078	2,72773	0,00637711
Preço do Etanol <sub>t-4</sub>	-0,281523898	0,136169924	-2,06745	0,03869219
Preço do Etanol <sub>t-5</sub>	0,013871032	0,095218177	0,14568	0,88417693
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	0,298962976	0,098148896	3,04601	0,00231897
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	-0,235188697	0,134384581	-1,75012	0,08009818
Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	-0,042511868	0,135289215	-0,31423	0,75334671
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	-0,110744277	0,135027771	-0,82016	0,41212532
Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,327686505	0,105679997	3,10074	0,00193036
<b>Equação 2 – Variável Dependente: Preço do Alcool</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	-1,20530865	0,367398558	-3,28066	0,00103566
FLEX	-0,135721958	0,052436356	-2,58832	0,00964459
Preço do Açúcar <sub>t-1</sub>	0,248640894	0,118231051	2,10301	0,03546503
Preço do Açúcar <sub>t-2</sub>	-0,024535614	0,158722674	-0,15458	0,87715113
Preço do Açúcar <sub>t-3</sub>	0,101515717	0,153958359	0,65937	0,50965740
Preço do Açúcar <sub>t-4</sub>	-0,139775234	0,150603292	-0,92810	0,35335460
Preço do Açúcar <sub>t-5</sub>	-0,122641370	0,117740277	-1,04163	0,29758497
Preço do Etanol <sub>t-1</sub>	0,939361033	0,104405634	8,99723	0,00000000
Preço do Etanol <sub>t-2</sub>	-0,486627407	0,146287429	-3,32652	0,00087939
Preço do Etanol <sub>t-3</sub>	0,324083653	0,154014811	2,10424	0,03535778
Preço do Etanol <sub>t-4</sub>	-0,140274844	0,152545974	-0,91956	0,35780387
Preço do Etanol <sub>t-5</sub>	-0,015167049	0,106669294	-0,14219	0,88693184
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	0,030228099	0,110018459	0,27475	0,78350463
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	-0,087742853	0,150645511	-0,58245	0,56026641
Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	-0,054585798	0,151659106	-0,35992	0,71890374
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	-0,098163445	0,151365472	-0,64852	0,51664907
Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,419717884	0,118446928	3,54351	0,00039484
<b>Equação 3 – Variável Dependente: Preço do Petróleo</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	0,208566606	0,087958249	2,37120	0,01773043
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	1,026638002	0,098864874	1,03843	0,00000000
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	-0,153308763	0,142114691	-1,07877	0,28069122
Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	0,095879267	0,142711844	0,67184	0,50168671
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	-0,065676229	0,142037982	-0,46238	0,64380527

Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,053627515	0,095886796	0,55928	0,57597101
----------------------------------	-------------	-------------	---------	------------

Fonte: Elaboração própria

\*Todas as variáveis estão em logaritmo.

Tabela 10 - Estimação do Modelo de Vetores Autoregressivos – (Modelo com Preço Internacional do açúcar)

<b>Equação 1 – Variável Dependente: Preço Internacional do Açúcar</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	0,029721509	0,213038452	0,13951	0,88904525
FLEX	-0,037795575	0,034334558	-1,10080	0,27098253
Preço Int. do Açúcar <sub>t-1</sub>	1,292699449	0,094485076	13,68152	0,00000000
Preço Int. do Açúcar <sub>t-2</sub>	-0,182426598	0,152266468	-1,19807	0,23088795
Preço Int. do Açúcar <sub>t-3</sub>	-0,244050090	0,150561181	-1,62094	0,10503129
Preço Int. do Açúcar <sub>t-4</sub>	0,148733641	0,156637289	0,94954	0,34234516
Preço Int. do Açúcar <sub>t-5</sub>	-0,160016273	0,104267313	-1,53467	0,12486407
Preço do Etanol <sub>t-1</sub>	-0,143103170	0,070648973	-2,02555	0,04281071
Preço do Etanol <sub>t-2</sub>	-0,002069508	0,099793891	-0,02074	0,98345480
Preço do Etanol <sub>t-3</sub>	0,213777629	0,102030681	2,09523	0,03615065
Preço do Etanol <sub>t-4</sub>	-0,199230775	0,097360418	-2,04632	0,04072469
Preço do Etanol <sub>t-5</sub>	0,107244204	0,060582547	1,77022	0,07669114
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	-0,142597014	0,085103255	-1,67558	0,09382117
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	0,216255780	0,117892213	1,83435	0,06660180
Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	-0,148513109	0,116214087	-1,27793	0,20127520
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	0,167917113	0,115271469	1,45671	0,14519642
Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,002860359	0,088954768	0,03216	0,97434828
<b>Equação 2 – Variável Dependente: Preço do Etanol</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	-1,152510	0,285157285	-4,04166	0,00005307
FLEX	-0,126552444	0,046120757	-2,74394	0,00607072
Preço Int. do Açúcar <sub>t-1</sub>	0,393360811	0,126919450	3,09929	0,00193982
Preço Int. do Açúcar <sub>t-2</sub>	-0,333438998	0,204535756	-1,63022	0,10305427
Preço Int. do Açúcar <sub>t-3</sub>	0,399214687	0,202245086	1,97392	0,04839137
Preço Int. do Açúcar <sub>t-4</sub>	-0,270899479	0,210406970	-1,28750	0,19791923
Preço Int. do Açúcar <sub>t-5</sub>	-0,101102898	0,140059685	-0,72186	0,47038313
Preço do Etanol <sub>t-1</sub>	0,960018003	0,094901006	10,11599	0,00000000
Preço do Etanol <sub>t-2</sub>	-0,436824089	0,134050649	-3,25865	0,00111944
Preço do Etanol <sub>t-3</sub>	0,303471147	0,137055273	2,21422	0,02681334
Preço do Etanol <sub>t-4</sub>	-0,083909486	0,130781825	-0,64160	0,52113360
Preço do Etanol <sub>t-5</sub>	-0,103101081	0,081379026	-1,26692	0,20518229
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	-0,061008856	0,111076383	-0,54925	0,58283296
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	0,037099216	0,153522393	0,24165	0,80904870
Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	-0,184173268	0,151154038	-1,21845	0,22305394
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	0,070249342	0,149893831	0,46866	0,63931221
Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,323994750	0,116580201	2,77916	0,00545001
<b>Equação 3 – Variável Dependente: Preço do Petróleo</b>				
<b>Variáveis Explicativas</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t-student</b>	<b>P-valor</b>
Constante	0,208566606	0,087958249	2,37120	0,01773043
Preço do Petróleo <sub>t-1</sub>	1,026638002	0,098864874	10,38425	0,00000000
Preço do Petróleo <sub>t-2</sub>	-0,153308763	0,142114691	-1,07877	0,28069122

Preço do Petróleo <sub>t-3</sub>	0,095879267	0,142711844	0,67184	0,50168671
Preço do Petróleo <sub>t-4</sub>	-0,065676229	0,142037982	-0,46238	0,64380527
Preço do Petróleo <sub>t-5</sub>	0,053627515	0,095886796	0,55928	0,57597101

Fonte: Elaboração própria

## ANEXO

Tabela 11 - Word Ethanol Exports (m<sup>3</sup>)

Country	2007	2006
<b>Total World</b>	<b>8.025.571</b>	<b>7.910.510</b>
<b>Total Americas</b>	<b>5.412.869</b>	<b>4.728.652</b>
Brazil	3.533.155	3.428.975
<b>Total Europe</b>	<b>1.777.120</b>	<b>1.468.390</b>
<b>EU</b>	<b>1.623.778</b>	<b>1.292.528</b>
U.S.A.	617.275	200.274
<b>Total Asia/Pacific</b>	<b>605.953</b>	<b>1.362.562</b>
France	462.573	319.297
Jamaica	335.459	266.969
Costa Rica	279.079	191.553
El Salvador	271.285	339.111
Pakistan	261.126	133.574
<b>Total Africa</b>	<b>229.628</b>	<b>350.906</b>
UK	205.022	142.048
Other EU	175.926	110.742
South Africa	175.778	289.937
Spain	169.812	186.270
Netherlands	161.614	48.701
Germany	156.817	136.168
Belgium	147.294	104.801
China	129.974	1.017.779
Ukraine	91.842	119.362
Argentina	86.319	58.645
Bolivia	77.469	70.856
Guatemala	75.319	64.529
Sweden	71.496	72.698
Italy	64.167	115.714
Other Europe	61.500	56.500
Thailand	59.592	17.553
Canada	58.686	57.414
Saudi Arabia	45.127	77.733
Other Africa	42.000	52.000
Indonesia	34.676	32.445
India	22.000	37.212
Other Americas	20.000	3.600
Other Asia/Pacific	20.000	12.000
Ecuador	18.632	17.659
Cuba	14.589	3.579
Zimbabwe	11.850	8.968
Malaysia	10.088	2.209
Panama	9.594	3.279
Australia	9.512	21.719
Poland	9.059	56.089

Mexico	7.726	9.232
Barbados	7.510	6.221
New Zealand	7.096	8.686
Singapore	6.763	1.653
Nicaragua	774	6.756

Fonte Datagro

Tabela 12 - World Sugar Exports (1000 MT)

World: Sugar Exports Exports (1000 MT) Country	Year	
	2006/2007	2007/2008
Algeria	50	82
Argentina	633	338
Australia	3.860	3.700
Azerbaijan, Republic of	100	117
Barbados	45	39
Belarus	243	479
Belize	87	79
Benin	6	6
Bolivia	70	110
Brazil	20.850	19.750
Burma, Union of	209	209
Cameroon	20	20
Canada	32	36
Chile	2	3
China, Peoples Republic of	122	52
Colombia	942	940
Congo (Brazzaville)	41	41
Congo, Democratic Rep of the	12	12
Costa Rica	139	123
Cote d'Ivoire	2	2
Croatia	170	150
Cuba	620	950
Dominican Republic	225	198
EU-27	2.162	1.386
Ecuador	47	15
Egypt	100	100
El Salvador	290	280
Ethiopia	50	50
Fiji	245	200
French West Indies	45	45
Ghana	225	225
Guatemala	1.500	1.402
Guinea	20	20
Guyana	280	255
Honduras	60	80
Hong Kong	30	40
India	2.680	4.900
Iran	475	330
Iraq	0	25
Israel	125	110
Jamaica and Dep	153	153

Japan	10	2
Kazakhstan, Republic of	84	90
Kenya	14	21
Korea, Republic of	340	325
Kyrgyzstan, Republic of	105	105
Madagascar	5	6
Malawi	80	105
Malaysia	300	310
Mauritius	505	500
Mexico	160	500
Moldova, Republic of	40	40
Morocco	28	25
Mozambique	260	268
Nepal	10	10
New Zealand	20	22
Nicaragua	206	243
Nigeria	100	50
Pakistan	65	70
Panama	56	44
Papua New Guinea	5	5
Paraguay	15	19
Peru	109	60
Philippines	273	240
Russian Federation	180	150
Saudi Arabia	360	610
Senegal	7	7
Serbia	220	212
Singapore	44	53
South Africa, Republic of	1.267	1.154
Sudan	275	250
Swaziland	358	350
Switzerland	85	80
Syria	266	496
Taiwan	42	40
Tanzania, United Republic of	5	40
Thailand	4.705	4.900
Trinidad and Tobago	41	5
Tunisia	90	85
Turkey	30	40
Ukraine	10	10
United Arab Emirates	1.730	1.825
United States	383	184
Venezuela	5	1
Vietnam	35	15
Yemen	75	65
Zambia	125	170
Zimbabwe	150	135

Fonte: Datagro