UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

MARCELO BOSI RODRIGUES

**Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações:
uma análise econométrica**

Orientador: Prof. Dr. Rudinei Toneto Júnior

RIBEIRÃO PRETO
2009

Prof. Dr. João Grandino Rodas
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Rudinei Toneto Júnior
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão
Preto

Prof. Dr. Walter Belluzzo Júnior
Chefe do Departamento de Economia

MARCELO BOSI RODRIGUES

**Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações:
uma análise econométrica**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Rudinei Toneto Júnior

RIBEIRÃO PRETO
2009

ERRATA

RODRIGUES, M. B. **Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações: uma análise econométrica**. 2009. 67 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

Correção 1

A partir da página 54, linha 10, onde se lê: “Com isso, os valores...” até a página 56, linha 3, onde se lê: “...serão apresentados posteriormente.”, realiza-se uma explicação do cálculo dos valores estacionários esperados das séries de preços relativos, estes cálculos deveriam ser realizados como se segue, inclusive substituindo as equações 26, 27 e 28, além da figura 20, pelas que se seguem:

- Para a série Ps/Pa, o modelo de regressão mais adequado encontrado foi um processo auto-regressivo de segunda ordem, AR (2).

$$y_t = c + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (26)$$

$$y_t = -0,130794 + 1,014492 y_{t-1} - 0,171557 y_{t-2} + \varepsilon_t$$

A partir da equação 26 é possível calcular a média do processo através da esperança matemática, considerando $E(\varepsilon_t) = 0$, obtém-se $E(y_t) = -0,83274$, como a série está logaritimizada, deve-se fazer $e^{-0,83274}$, obtendo-se assim a média esperada do processo: $\frac{Ps}{Pa} = 0,43485$.

- Para a série Pa'/Pg, o modelo de regressão mais adequado encontrado foi um processo auto-regressivo com média móvel e sazonalidade auto-regressiva, AR(1) AR(2) MA(1) MA(3) SAR(12).

$$u_t = \phi_1 u_{t-1} + \phi_2 u_{t-2} + \phi_{12} u_{t-12} - \phi_1 \phi_{12} u_{t-13} - \phi_2 \phi_{12} u_{t-14} + (1 + \theta_1 L + \theta_3 L^3) \varepsilon_t \quad (27)$$

Onde os coeficientes auto-regressivos são $\phi_1 = 1,508790$ e $\phi_2 = -0,728301$, o coeficiente sazonal (SAR) é $\phi_{12} = -0,208368$ e os coeficientes da parte média móvel são $\theta_1 = -0,519460$ e $\theta_3 = 0,341166$.

Sabendo que:

$$y_t = c + u_t \quad (28)$$

$$c = -0,409324$$

Substituindo 27 em 28, é possível encontrar a média do processo da mesma forma que o anterior, calculando a esperança matemática e considerando $E(\varepsilon_t) = 0$. Assim, obtém-se $E(y_t) = -0,40971$, como a série está logaritimizada, deve-se fazer $e^{-0,40971}$ obtendo-se a média esperada do processo: $\frac{Pa'}{Pg} = \mathbf{0,66384}$.

Figura 20: Valores esperados das séries estacionárias

<i>Séries</i>	$E(y_t)$	e^{y_t}
<i>Ps/ Pa</i>	-0,83274	0,43486
<i>Pa' / Pg</i>	-0,40971	0,66384

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViwes 5

Correção 2

Na página 57, resultado:

$$E\left(\frac{P_s}{P_a}\right) \cong 0,873918$$

Substituir por:

$$E\left(\frac{P_s}{P_a}\right) \cong 0,43486$$

Correção 3

Na página 57, resultado:

$$E\left(\frac{P_a'}{P_g}\right) \cong 0,657412$$

Substituir por:

$$E\left(\frac{P_a'}{P_g}\right) \cong 0,66384$$

Correção 4

Na página 58, linha 21, página 61, linha 2, Resumo, linha 11 e *Abstract*, linha 10,

Onde se lê:

$$0,657412$$

Substituir por:

$$0,66384$$

Obs: Todos os comentários permanecem válidos.

Rodrigues, Marcelo Bosi

Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações:
uma análise econométrica. Ribeirão Preto, 2009.

67 p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de
Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Toneto Júnior, Rudinei

1. Preços. 2. Álcool. 3. Açúcar. 4. Etanol. 5. Combustíveis.
6. Econometria.

Nome: RODRIGUES, Marcelo Bosi

Título: Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações: uma análise econométrica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

À Téia, tia querida que tanto torceu para a conclusão deste projeto.

À Wanda, minha mãe, modelo de resiliência.

À Raquel, minha esposa, meu porto seguro, sempre e incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rudinei Toneto Junior pelo grande apoio e orientação.

Ao Prof. Dr. Sérgio Kannebley Júnior pelos conselhos e apoio quando do meu ingresso neste programa.

Ao Prof. Dr. Alex Luiz Ferreira pela valorosa contribuição intelectual e pessoal.

Ao Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira pela ajuda na elaboração do modelo teórico e por servir de exemplo e inspiração de docência.

Em especial, à Prof. Dra. Roseli da Silva pela valorosa contribuição com a manipulação dos dados e o tratamento econométrico.

Em especial, ao colega de mestrado Diogo de Prince Mendonça pela imensa ajuda com os testes econométricos e a interpretação dos resultados.

À minha família, pelo amor incondicional.

RESUMO

RODRIGUES, M. B. Os preços do álcool, do açúcar e da gasolina e suas relações: uma análise econométrica. 2009. 67 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

O objetivo principal do presente trabalho é analisar as séries de preços do álcool combustível, do açúcar e da gasolina, no intuito de investigar as relações entre eles. Neste sentido, as séries de preços individuais e os preços relativos foram analisados, utilizando-se testes econométricos para verificar a presença de raiz unitária. Apesar das séries de preços terem apresentando comportamento não estacionário, os preços relativos demonstraram estacionariedade. O valor de convergência do preço relativo do álcool e da gasolina (0,657412) se aproximou bastante da relação entre os preços estabelecida pela diferença na eficiência técnica desses dois combustíveis (0,7). Além disso, o estudo demonstrou que os preços do álcool combustível têm sua oscilação balizada pelos preços da gasolina, no varejo e do açúcar no atacado, determinando com isso uma faixa dentro da qual o preço deste produto oscila.

Palavras Chave: Preços. Álcool. Açúcar. Etanol. Combustíveis. Econometria.

ABSTRACT

RODRIGUES, M. B. **The ethanol, sugar and gas prices and its relationship: an econometric analysis**. 2009. 67 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

The main goal of this work is to analyze the price series of ethanol, sugar and gas in order to investigate the relationship between them. In this sense the individual price series and the relative ones were analyzed. For that we used econometric tests to verify the unit root presence. In spite of the individual price series being not stationary, the relative prices show stationarity. Ethanol and gas relative price convergence value (0,657412) got close to the relation between the established relative price by the difference of both fuels technical efficiency (0,7). Besides that the work has demonstrated that ethanol prices have its own range based on gas retail prices and sugar wholesale prices, determining this way a level where this product price ranges.

Keywords: Price. Ethanol. Sugar. Fuels. Econometrie.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. MARCO TEÓRICO.....	14
3. OS MERCADOS DO SETOR.....	17
3.1. O mercado de açúcar.....	21
3.1.1. Mercado externo de açúcar.....	23
3.2. O mercado de combustíveis.....	26
3.2.1. Mercado externo de etanol.....	29
4. O MERCADO DE AUTOMÓVEIS.....	32
5. MODELO TEÓRICO PROPOSTO.....	35
6. SÉRIES DE PREÇOS.....	39
7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	45
8. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cana-de-açúcar processada no Brasil – região produtora	10
Figura 2 – Cana-de-açúcar processada no Brasil	11
Figura 3 – Principais estados produtores de cana-de-açúcar – 2008/09.....	18
Figura 4 – Esquema de comercialização - açúcar e álcool no Brasil.....	20
Figura 5 – Produção de açúcar no Brasil	22
Figura 6 – Exportação de açúcar	25
Figura 7 – Exportação de açúcar – principais destinos	26
Figura 8 – Produção de etanol no Brasil	28
Figura 9 – Exportação de etanol - principais destinos	30
Figura 10 – Exportação de etanol	31
Figura 11 – Vendas de veículos por tipo de combustível	33
Figura 12 – Preços do açúcar e álcool ao produtor - estado de São Paulo.....	41
Figura 13 – Preços da gasolina e álcool no varejo - média 11 capitais.....	42
Figura 14 – Relação entre preços - açúcar e álcool (P_s/P_a).....	43
Figura 15 – Relação entre preços - gasolina e álcool (P_a/P_g).....	44
Figura 16 – Forma funcional das séries de preços.....	52
Figura 17 – Forma funcional das séries de preços.....	53
Figura 18 – Forma funcional das séries das razões de preços.....	54
Figura 19 – Testes de raiz unitária nas séries das razões de preços.....	54
Figura 20 – Valores esperados das séries estacionárias.....	55
Figura 21 – Testes LM de raiz unitária para duas quebras.....	56

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é uma das mais antigas existentes em nosso país, seu cultivo remonta da época do Brasil colônia. De lá para cá, tornou-se importante fonte de riqueza para nosso país, inicialmente com a produção do açúcar e da cachaça e posteriormente com o álcool combustível e a co-geração de energia elétrica. Assim, o setor passou a ser conhecido como indústria sucroalcooleira.

Existem no país duas regiões produtoras de cana-de-açúcar: centro-sul, que abrange os estados de SP, PR, RJ, MG, GO, MT, MS, ES e o DF, e nordeste que é composta por PE, AL, AM, AC, AP, BA, CE, MA, PA, PB, PI, RN, RR, SE e TO. Apesar de o nordeste ter sido a porta de entrada para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil, a região centro-sul vem aumentando sua participação no setor. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a região centro-sul foi responsável em 2009 pelo processamento de 90% da cana-de-açúcar do país.

No gráfico abaixo (Figura 1) é possível observar a evolução da participação da região centro-sul, a qual processava 76,52% da cana-de-açúcar produzida no país na safra 90/91, passando a 88,74% na safra 08/09.

Figura 1: Cana-de-açúcar processada no Brasil - região produtora

Fonte: UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Segundo o cadastro do Ministério da Agricultura de maio de 2009, existiam no Brasil 413 unidades produtoras cadastradas, sendo 15 voltadas exclusivamente para a produção de açúcar, 150 exclusivamente para álcool e o restante, 248, destinadas a produção mista. O setor sucroenergético brasileiro, segundo dados da ProCana (2009) movimenta cerca de R\$ 51 bilhões na safra 2008/09, o que representa aproximadamente 1,76% do PIB. Este setor gera algo em torno de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos, além de envolver 72.000 agricultores.

No gráfico a seguir (Figura 2) é possível observar a evolução do volume de cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras a partir da safra 90/91, com aproximadamente 222,5 milhões de toneladas, chegando a 569,0 milhões de toneladas na safra 08/09.

Figura 2: Cana-de-açúcar processada no Brasil

Fonte: UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Conforme Silva (2008), o lançamento em 2003, pelas montadoras nacionais, de carros com motores flexíveis (*flex fuel*), que rodam com qualquer proporção da mistura entre álcool e gasolina, levou o setor a reviver a euforia experimentada em 1975, com o Programa Nacional do Álcool – Proálcool, quando a obrigatoriedade da mistura do álcool anidro à gasolina foi instituída. Segundo dados da Anfavea – Associação Nacional de Veículos Automotores, no ano de 2005 entre os veículos vendidos pelas indústrias 49,46% eram bicomcombustível, saltando para 82,11% no ano de 2008 e chegando a 85,02% em 2009, até outubro.

Apesar de o açúcar e o álcool serem os principais produtos do setor, outros produtos e subprodutos são obtidos a partir da cana-de-açúcar, como a energia elétrica gerada com a queima do bagaço da cana moída. Atualmente esta opção vem se destacando como fonte de renda para as usinas, principalmente devido ao fato de que o bagaço da cana, matéria prima utilizada na co-geração

de energia elétrica, constitui-se em resíduo na produção de açúcar ou álcool. Segundo dados da Secretaria Estadual de Saneamento e Energia 6% dos 127 mil megawatts da energia elétrica consumida em 2007 no Estado de São Paulo, foram produzidos a partir do bagaço da cana-de-açúcar. Dessa maneira, o setor vem alcançando importância crescente na economia nacional, mais ainda devido às recentes oscilações no preço do petróleo, do aumento da demanda por alimentos no mundo e da necessidade crescente de fontes alternativas para a geração de energia elétrica.

Apesar da evolução técnica crescente na extração de produtos da cana-de-açúcar, a suscetibilidade das empresas com relação às variações dos preços constitui-se numa variável determinante do desempenho econômico deste setor. Neste sentido, este estudo pretende contribuir para um melhor entendimento dos mercados destes produtos, bem como do comportamento dos preços destas *commodities* e suas inter-relações entre si e com o preço da gasolina. Nesse sentido, o foco do trabalho voltar-se-á para os principais produtos da indústria sucroalcooleira, o açúcar e o álcool combustível. De um lado, um produto voltado para a alimentação e, de outro, um combustível cuja utilização vem crescendo devido ao forte apelo ecológico e à capacidade de substituição, ainda que parcial, do petróleo, cujas fontes tendem a se esgotar.

O principal objetivo deste estudo foi analisar as relações entre os preços do álcool combustível, do açúcar e da gasolina, no intuito de investigar as relações entre eles. Neste sentido, as séries de preços individuais e os preços relativos foram analisados, utilizando-se os testes econométricos para verificar a presença de raiz unitária. Para atingir tal objetivo foi realizada uma descrição dos mercados de combustíveis, de açúcar e de veículos, visando a conhecer suas dinâmicas e interdependências. Em seguida o modelo teórico utilizado para balizar a análise foi apresentado, assim como o procedimento metodológico de análise econométrica. Por fim são apresentados os resultados obtidos e uma

análise dos mesmos sob a luz da teoria econômica e das relações mercadológicas descritas.

2. MARCO TEÓRICO

Segundo Bacchi (2005), muitos trabalhos utilizam modelos de séries temporais para analisar o comportamento dos preços em mercados agrícolas. Em um destes trabalhos Sampaio e Lima (1999a) utilizaram um modelo dinâmico ajustado com dados mensais de 1981 a 1995. Em outro estudo proposto para verificar as fontes de formação dos preços no mercado doméstico, Sampaio e Lima (1999b) usaram uma função de transferência para avaliar o impacto da variação do preço internacional sobre o doméstico. Silveira (2004) também analisou a relação existente entre os mercados interno e internacional de açúcar, quando as exportações já eram feitas pela iniciativa privada.

Alves (2002) analisou a transmissão de preços entre os mercados dos principais produtos do setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo por meio de modelos VAR – Auto-Regressão Vetorial com correção de erro (VEC), já Alves & Bacchi (2003) buscaram analisar o processo de formação de preço do açúcar cristal empacotado no varejo da região centro-sul do Brasil no período de maio de 1998 a dezembro de 2002, considerando os diversos segmentos que compõe a sua cadeia de comercialização.

Costa (2001) utilizou um modelo de comercialização para estudar o processo de transmissão de preços entre os produtos do setor sucroalcooleiro no qual foram considerados três níveis de mercado no caso do açúcar cristal empacotado para uso doméstico e dois níveis no caso do açúcar refinado, uma vez que para esse último produto o mercado atacadista é inexistente. Para o modelo proposto para o açúcar cristal, Costa (2001) considerou que nos segmentos produtor e atacado os preços ajustam-se continuamente de acordo com o excesso de demanda. No varejo, os preços formam-se por política de *markup*, com base no preço ao atacado e nos custos de comercialização. No modelo proposto para o mercado de açúcar refinado, a autora pressupôs que os preços ao produtor e ao varejo são formados da mesma maneira que no caso do

açúcar cristal – por *markup* (considerando o processo de defasagem distribuída), e no caso do segmento produtor, por excesso de demanda. Para os mercados de álcool hidratado e anidro foram considerados apenas dois níveis de mercado. Deve-se chamar a atenção para o fato da autora ter utilizado em sua análise séries de dados de período no qual os preços de álcool ainda eram regulado.

Marjotta-Maistro (2002) desenvolveu um estudo com o objetivo de analisar e caracterizar o mercado de combustíveis para um período no qual os preços eram parcialmente liberados, correspondendo aos anos de 1995 a 2000. O estudo estimou dois modelos: Modelo de Ajuste pelo Preço e Modelo de Ajuste pela Quantidade. Os resultados permitiram concluir que os preços foram pouco eficazes para influenciar alterações nas quantidades consumidas dos combustíveis; que as variações de demanda tendiam a ser atendidas sem grandes alterações nos preços da gasolina e dos seus componentes; que os ajustes de preços ao atacado da gasolina C e da gasolina A eram repassados ao varejo parcialmente; que o governo tendia a absorver os choques externos de preços não os repassando imediatamente ao varejo. Assim, os resultados da pesquisa refletiram setores ainda operando sob a égide do Estado, que controlava suas operações, sem atender à lógica econômica.

O estudo conduzido por Sordi (1997) caracteriza-se como pioneiro sobre o mercado de combustível brasileiro. O autor centrou sua análise em um mercado pouco estudado empiricamente até então, o de álcool hidratado carburante. Ele baseou sua análise em dois modelos de demanda, um considerando a oferta endógena e outro considerando a oferta exógena, para estimar as elasticidades-preço e renda da demanda. Os modelos foram ajustados com dados mensais de janeiro de 1980 a dezembro de 1995. As variáveis consideradas foram: demanda total de álcool hidratado, preço do álcool hidratado ao consumidor, renda, frota de veículos movidos a álcool, razão dos preços do álcool hidratado e da gasolina ao consumidor, preço da cana-de-

açúcar, preço do álcool hidratado ao produtor, preço do açúcar no mercado interno, preço do açúcar no mercado internacional e preço do petróleo no mercado internacional.

Brown (1980) analisou a utilização do álcool como substituto para os produtos derivados de petróleo. Partindo de diferentes hipóteses quanto ao crescimento econômico, grau de racionalização no consumo dos derivados de petróleo, produção de etanol, produção nacional de petróleo e preço do barril de petróleo, o autor projetou a demanda dos derivados de petróleo e investigou formas alternativas de suprir essa demanda através do uso do álcool.

Os estudos feitos no âmbito internacional sobre o mercado de álcool combustível tratam quase que exclusivamente da análise da viabilidade de se usar um combustível menos poluente produzido a partir de biomassa (combustíveis renováveis) em substituição aos fósseis. Entre esses estudos pode-se citar o de Rask (1998) para o mercado norte americano.

Mais recentemente, Ferreira *et al* (2009) realizaram uma análise dos mercados de combustíveis, no intuito de verificar a dinâmica dos preços dos combustíveis a partir do advento dos carros *flex*. O estudo mostra que a dinâmica depende da proporção de veículos movidos à gasolina, álcool ou com tecnologia *flex* existentes na frota nacional e esta proporção, por sua vez, depende do preço esperado do álcool e da gasolina, além do preço do veículo. Assim, o modelo demonstra uma relação de causalidade de longo prazo partindo do preço da gasolina para o preço do álcool.

3. OS MERCADOS DO SETOR

Segundo Alves e Bacchi (2003), a cana-de-açúcar é uma fonte de energia de enorme eficiência. Para cada tonelada que se colhe, produz-se, em média, energia equivalente ao de 1,2 barris de petróleo. Esse fato tem enorme importância para a balança comercial brasileira, uma vez que a sua transformação em álcool proporciona menor importação de combustíveis. Conclui-se com isso, que a agroindústria canavieira do Brasil é de suma importância para o país, sendo inúmeros os benefícios e oportunidades que o setor proporciona tanto no que se refere às questões sócio-econômicas quanto para as ecológicas e ambientais.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido da Índia e da Austrália. Segundo dados da ÚNICA, a produção mundial de cana-de-açúcar totaliza quase 1,4 bilhões de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do sudeste Asiático. A ampliação da produção, do consumo e principalmente do comércio mundial de etanol, especialmente o produzido a partir da cana-de-açúcar, deve gerar renda e beneficiar os produtores rurais dos países mais pobres.

Ainda conforme dados da ÚNICA, o faturamento anual bruto do setor sucroenergético brasileiro é de cerca de US\$ 20 bilhões, sendo que na safra 2007/08, 44% da receita foi gerada pela comercialização de açúcar, 54% do etanol, e 2% pela comercialização de energia elétrica no mercado interno. Do total de açúcar produzido, 64% foram exportados, situação inversa à do etanol, que teve apenas 15% do total produzido voltado para a exportação. Numa estimativa do INPE (Instituto de pesquisas espaciais) através de dados de satélite (Canasat), só na região centro-sul a área cultivada de cana-de-açúcar chegou a 6,53 milhões de hectares na safra 08/09.

Como dito anteriormente, uma característica do setor sucroalcooleiro brasileiro é a sua agregação em termos de duas grandes regiões. A região centro-sul assume uma importância destacada tanto em termos de produção como de área plantada e níveis de produtividade da cultura da cana-de-açúcar. A participação relativa da região centro-sul, nas últimas safras, ultrapassou 88% do total da produção nacional de cana (Figura 1).

Figura 3: Principais estados produtores de cana-de-açúcar – 2008/09

Fonte: UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O estado de São Paulo aparece como o maior produtor tanto no âmbito da região centro-sul como no âmbito nacional, responsável por mais de 60% da produção brasileira e mais de 70% da produção da região centro-sul (Figura 3). A produção do norte-nordeste representou na última safra pouco mais de 11% do total (Figura 1), com a do nordeste, individualmente, respondendo por quase a totalidade desse montante. Na região nordeste, os estados que mais produzem são Alagoas e Pernambuco. O período de safra na região centro-sul inicia-se em

abril/maio e termina em novembro/dezembro, enquanto que na região nortenordeste, a safra se estende de setembro a março.

A indústria sucroalcooleira encontra um paradoxo ao ter que optar entre a produção de álcool ou de açúcar, principais produtos do setor. De um lado se depara com o mercado de alimentos, tornando-se fornecedora de uma das bases alimentares de grande quantidade de outros produtos como: balas, doces em geral, bebidas não alcoólicas, massas, biscoitos, xaropes, confeitos, entre outros, além do açúcar *in natura* nas suas mais variadas formas (BIANCHINI e ASSUMPÇÃO, 2002). De outro lado, participa de um mercado cuja importância é equivalente, com a responsabilidade de ser uma fonte de energia renovável e menos poluente do que seus concorrentes: derivados do petróleo e demais combustíveis fósseis. Na figura 4 é possível observar um esquema simplificado da comercialização dos principais produtos do setor sucroalcooleiro, até o consumidor final.

Segundo Melo *et al* (2008), a decisão dos produtores de produzir açúcar ou álcool depende do preço relativo das duas *commodities*. Como nos últimos anos a procura por etanol estava alta, os produtores substituíram a produção de açúcar para produzirem etanol. Ainda segundo ele, a maior parte da energia hoje consumida no mundo é derivada de fontes como petróleo, carvão e gás natural. Essas fontes, no entanto, não são renováveis e devem se esgotar em data futura. Nas últimas décadas, portanto, as fontes renováveis de combustíveis de base biológica têm sido consideradas como alternativa à matriz energética convencional.

Figura 4: Esquema de comercialização - açúcar e álcool no Brasil

Fonte: Adaptado de Alves (2002)

Ainda segundo Melo *et all* (2008), essas características tão diferentes fazem com que o comportamento dos mercados e, conseqüentemente, dos preços desses produtos sejam distintos, trazendo riscos variados para a indústria. O complexo agroindustrial brasileiro constitui-se numa das mais antigas atividades econômicas do país e nas últimas décadas tem evoluído significativamente contribuindo, desta forma, para a geração de emprego e renda na economia, bem como com os superávits da balança comercial.

3.1. O mercado de açúcar

De acordo com Alves e Bacchi (2004), no que se refere à produção de açúcar, é importante ressaltar três momentos vividos pelo agronegócio canavieiro na década de 90. O primeiro diz respeito à extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em março de 1990, que alterou a dinâmica do mercado de açúcar. Com o fim desse Instituto, o mercado se tornou altamente competitivo, já que o preço desta *commodity*, ao deixar de ser controlado pelo Estado, passou a flutuar livremente.

Um segundo momento está relacionado aos impactos do Plano Real, visto que esse incrementou a renda interna e impulsionou o crescimento do mercado doméstico, elevando a demanda do setor (ALVES e BACCHI, 2004). No caso da demanda industrial, as empresas do setor alimentício estiveram expostas a maior concorrência, o que exigia das mesmas a busca por redução de preços e aumento da qualidade. Além do mais, como resultado da política cambial do período, que manteve a moeda nacional valorizada até 1998, o preço do álcool combustível frente à gasolina aumentou, desestimulando a demanda por aquele produto. Diante disso e do estímulo do Governo, as usinas direcionaram maior quantidade de cana para a produção de açúcar, incrementando-a de forma substancial.

Um terceiro momento remete à mudança da política cambial brasileira ocorrida em janeiro de 1999, quando foi extinto o chamado “regime de bandas cambiais”, que determinava os limites de flutuação do preço da moeda estrangeira, adotando-se o regime de câmbio flexível. A liberalização do câmbio foi acompanhada por uma progressiva desvalorização da moeda brasileira, o que elevou a competitividade dos produtos nacionais exportáveis, favorecendo, entre outros, o setor exportador de açúcar (ALVES e BACCHI, 2004).

Figura 5: Produção de açúcar no Brasil

Fonte: UNICA

A esses três momentos, ainda pode-se agregar um quarto em janeiro de 2003, com a introdução no mercado de veículos equipados com motores *flex*. A partir de 2000, embora a produção de açúcar tenha mantido sua tendência de crescimento, a concorrência com o etanol tornou-se mais acirrada. Particularmente em 2003, com o advento dos veículos *flex* e em 2007 e 2008 devido a escalada do preço do petróleo e de seus derivados, deslocando o foco da indústria sucroalcooleira para o etanol em detrimento do açúcar.

No gráfico anterior (Figura 5) é possível observar a evolução da produção nacional de açúcar, que saltou de 7,4 bilhões de toneladas na safra 90/91 para 31,1 bilhões na safra 08/09, um crescimento de 320% num intervalo de vinte anos. Dois pontos chamam atenção, a desaceleração no crescimento da produção ocorrida entre as safras de 99/00 e 00/01 e a ocorrida entre as safras 04/05 e 05/06. A primeira apresentou uma queda de aproximadamente 16%, reduzindo a produção de 19,4 para 16,3 bilhões de toneladas, enquanto a segunda, mais

branda, apresentou uma queda de 2,6%, caindo de 25,9 para 26,6 bilhões de toneladas.

3.1.1. Mercado externo de açúcar

Os principais fatores que impulsionaram o crescimento das exportações brasileiras na década de 1990 têm sido apontados como: a liberalização das exportações em julho de 1994, que encerrou o regime de quotas tarifárias, quando se taxava em 40% os volumes exportados superiores aos estabelecidos como quota; o aumento da demanda mundial, que se refletiu em condições favoráveis no mercado internacional; e a extinção de acordos especiais de comércio entre governos, que propiciou a entrada do Brasil em mercados até então fechados (ALVES e BACCHI, 2004).

Ainda segundo Alves e Bacchi (2004), pode-se creditar o crescimento das exportações brasileiras de açúcar a motivos de origem interna e externa. De origem externa, cita o fim do acordo bilateral entre a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e Cuba (URSS-Cuba), que possibilitou ao Brasil ocupar, em parte, o lugar de Cuba nesse mercado. No âmbito interno cita as crescentes exportações oriundas do Estado de São Paulo, respaldadas pelos baixos custos de produção em relação ao de outras regiões do Brasil e do mundo.

A redução da demanda de álcool hidratado na década de 1990 pode ser considerada como outro fator que propiciou o aumento das exportações brasileiras de açúcar (ALVES e BACCHI, 2004). Esse conduziu ao deslocamento da oferta, favorecendo a produção de açúcar em detrimento ao álcool. Já na década atual, segundo Silva (2008) embora o mercado de etanol tenha ganhado novo impulso, principalmente a partir do ano de 2003 com a

implantação da tecnologia dos motores bicompostível, a exportação de açúcar continuou a aumentar, apresentando queda apenas no ano de 2002

No que se refere ao perfil das exportações das regiões centro-sul e norte-nordeste, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior, elas diferem em relação aos seus mercados de destino. O número de países que importaram açúcar da região norte-nordeste manteve-se praticamente inalterado entre 1996 e 2002, enquanto o centro-sul apresentou expansão deste número.

A partir de 2000, é possível acompanhar o crescimento das exportações de açúcar (Figura 6), que até o ano de 2002 apresentam forte variação, passando de 6,5 para 15,2 milhões de toneladas, um crescimento de 134%. Entre 2002 e 2003 é possível observar uma queda de – 15,3% nas exportações, ocasionada por uma crise nos mercados mundiais. A partir de 2003 os volumes exportados crescem a taxas menores dos que as observadas no início deste século e só perdem um pouco de sua força a partir de 2005, quando a atenção do setor, principalmente no centro-sul, se volta para o etanol. Entre 2007 e 2008 o que se observa é uma redução das exportações provenientes do centro-sul de – 5,5%, compensada por uma elevação mais acentuada das exportações do norte-nordeste, 47,8%.

Figura 6: Exportação de açúcar

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior (Secex)

Destaca-se que uma das mais importantes características da agroindústria canavieira brasileira consiste na flexibilidade de sua produção. As usinas de açúcar com destilaria anexa podem direcionar o caldo oriundo da moagem da cana-de-açúcar tanto para a fabricação de açúcar como para de álcool, dependendo da rentabilidade desses produtos (Figura 4). Segundo Marjotta-Maistro (2002), no processo de tomada de decisão os agentes formam expectativa considerando preços e quantidades demandadas de açúcar e álcool, tanto no mercado interno como no externo.

Quanto ao destino das exportações brasileiras de açúcar (Figura 7), a Rússia desponta como o mais importante, absorvendo 22,5% do total exportado, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Secex) de 2008. Os demais países aparecem a seguir com seus respectivos percentuais e bem embaixo estão agrupados outros países que isoladamente representam menos de 1% do total exportado.

Figura 7: Exportações brasileiras de açúcar - principais destinos

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior (Secex)

3.2. O mercado de combustíveis

Conforme exposto anteriormente, o setor sucroalcooleiro era um dos mais controlados pelo governo até a década de 90. Moraes (2004) mostra que o governo, desde a década de 30, estabelecia a produção, incluindo fixação de cotas de produção de açúcar e de álcool para cada unidade industrial, se encarregava da comercialização dos produtos, ditando os preços da tonelada da cana-de-açúcar, do açúcar e dos combustíveis, e determinando os respectivos compradores e vendedores para o álcool combustível, além de ser o responsável por toda a exportação de açúcar e de álcool.

O principal acontecimento na década de 1990 para o setor foi o seu processo de desregulamentação, que alterou as relações dos agentes de toda a cadeia produtiva: produtores de cana-de-açúcar, usinas, destilarias, distribuidoras de combustível e também consumidores. Dessa maneira, novos

patamares de preços passaram a vigorar no ambiente desregulamentado (MORAES, 2004).

Marjotta-Mastro (2002) comenta que o processo de abertura do setor iniciou com a extinção do Instituto do Açúcar e Alcool em 1990 e a liberação gradativa dos preços dos produtos do setor. O primeiro a ser liberado foi o preço do açúcar (1992), seguido pelo do álcool anidro (1997) e pelos de cana-de-açúcar e do álcool hidratado (1999).

No setor de combustíveis, as mudanças começaram a ocorrer a partir da segunda metade da década de 1990. Os preços da gasolina automotiva ao consumidor foram liberados em 1996 e a partir de 2002 todos os preços deixaram de ser controlados pelo governo (MARJOTTA-MASTRO, 2002).

Moraes (2002) ressalta que a comercialização do álcool num mercado com preços liberados, impõe a adoção de estratégias de redução de custos desse produto, de forma a competir com a gasolina, independentemente das condições conjunturais de preços internacionais de petróleo e taxa de câmbio. Já Moraes (2004), ressalta que o funcionamento do mercado de álcool apresenta características que o torna bastante complexo já que além das ligações com o mercado de cana-de-açúcar e de açúcar, está também vinculado ao mercado de combustíveis.

No gráfico abaixo (Figura 8) é possível observar a evolução da produção de etanol no Brasil e também nas regiões produtoras (UNICA, 2009). Observa-se que a partir da safra 00/01 o crescimento da produção na região centro-sul foi bastante acentuado, com decréscimo apenas na safra 08/09 acarretado pela crise mundial, que reduziu os investimentos direcionados ao setor. A produção nacional saltou de 11,5 para 22,5 bilhões de litros na safra 07/08, um aumento de aproximadamente 96%, mas apresenta queda de 18,8% na safra 08/09. A partir destes números, fica claro que é o centro-sul que puxa a produção nacional de etanol.

Figura 8: produção de etanol no Brasil

Fonte: UNICA

A escolha entre produzir açúcar ou álcool passa a depender de seus preços relativos, assim como a decisão de produção entre álcool hidratado ou anidro. Por sua vez, a demanda pelo álcool hidratado depende do preço deste em relação à gasolina, cujos preços são fixados a partir das taxas de câmbio e dos preços internacionais de petróleo, que sofrem grande influência das políticas de preços dos principais países produtores (OPEP) e dos conflitos políticos nas principais regiões produtoras. (MORAES, 2004).

Moraes (2004), ainda mostra que o lançamento dos veículos bicomcombustível no Brasil em 2003 foi uma das importantes alterações no agronegócio da cana-de-açúcar, pois modificou a demanda de álcool combustível no médio e longo prazo. Seu impacto deve ser analisado sob dois aspectos: o da autonomia do consumidor, que passa a poder escolher o combustível considerando questões de eficiência e de preços relativos, ou seja, quando a relação do preço do álcool em relação ao da gasolina for menor que

70%, provavelmente a opção será pelo uso do álcool hidratado. Além disso, a demanda adicional por álcool hidratado, advinda das vendas dos carros bicombustíveis contribuiu para afastar a preocupação com o risco de desabastecimento e com a alta de preços do álcool hidratado. Na falta de álcool hidratado, pode-se abastecer com gasolina, e num cenário desfavorável ao seu uso, devido à relação de preços com a gasolina, os consumidores tendem a migrar para este último combustível.

3.2.1. O mercado externo de etanol

O mercado internacional de etanol tem seu desenvolvimento impulsionado por políticas governamentais de estímulo ao uso de combustíveis renováveis, dentre os quais o etanol é o mais antigo e a cana-de-açúcar a sua maior e mais eficiente fonte. O comércio internacional, apesar de crescente, ainda é bastante regionalizado, sendo os maiores produtores também os maiores consumidores (MORI e MORAES, 2007).

Na figura 9 a seguir é possível observar os principais destinos do etanol brasileiro, sendo Estados Unidos e Países Baixos os mais importantes, segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Secex) de 2008. Representando respectivamente 29,7% e 26% do total exportado pelo Brasil. Os demais destinos aparecem logo abaixo no gráfico e, no final, agrupados outros países que representam individualmente menos de um por cento do total.

Figura 9: Exportações brasileiras de etanol - principais destinos

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior (Secex)

O etanol pode ser produzido de diversas fontes, dentre elas a cana-de-açúcar, a beterraba, o milho, o trigo, o arroz. Existem ainda estudos para viabilização da produção de etanol a partir da celulose, através de um processo conhecido por hidrólise. A produção derivada destas matérias primas é chamada de bioetanol. Ainda há a possibilidade de produção de etanol a partir da nafta, do gás natural e do carvão. No mundo, a cana-de-açúcar e as chamadas *sugarbeets* respondem por 60% da produção mundial de bioetanol. Assim, o mercado de etanol está intrinsecamente relacionado ao mercado de açúcar (MORI e MORAES, 2007).

Segundo dados da Secex, a exportação de etanol apresentou forte crescimento a partir de 2003 (Figura 10), coincidindo com a introdução da tecnologia dos veículos com motores flexíveis. Daquele ano até 2008, o volume exportado saltou de 757 milhões para 5,1 bilhões de litros, um crescimento de 576%. Fica nítido na figura 10 ainda, que a região que impulsionou este

crescimento foi o centro-sul, cujas exportações aumentaram 904% neste mesmo período, passando de 457 milhões de litros para 4,6 bilhões.

Figura 10: Exportação de etanol

Fonte: Secretaria de Comércio Exterior (Secex)

Outro fator que vem contribuindo para o aumento das exportações do etanol é a crescente preocupação mundial com o meio ambiente, trata-se de um combustível de fonte renovável e com balanço ambiental favorável, no sentido em que o conjunto de seu processo produtivo apresenta baixos índices de emissão de gás carbônico. Neste sentido alguns países já começam a estudar, ou mesmo implantar a adição de etanol na gasolina comercializada, seguindo o exemplo do Brasil. Apesar disso, ainda existem discussões sobre os possíveis malefícios do avanço da área plantada de cana-de-açúcar, as conseqüências desse avanço sobre áreas com outras culturas e até mesmo sobre o desmatamento em regiões de florestas.

4. O MERCADO DE AUTOMÓVEIS

Segundo classificação da ANFAVEA, os veículos produzidos no Brasil podem ser divididos em quatro categorias conforme o porte e a utilização. Essas categorias e suas respectivas participações percentuais na produção compreendida entre os meses de janeiro e agosto de 2009 foram as seguintes: ônibus, 1,12%, caminhões, 3,56%, comerciais leves, 13,59% e automóveis, 81,74%. Sendo que, as duas primeiras citadas compreendem apenas veículos movidos a diesel que, portanto, sofreram pouca ou nenhuma influência da tecnologia *flex*. Já a categoria de comerciais leves por sua vez, compreende veículos movidos a diesel, a gasolina e alguns poucos com motores *flex*, que começam a substituir alguns dos movidos a gasolina. Dessa forma, o foco desse estudo recai sobre os automóveis, que representam a grande maioria dos veículos produzidos no país e, além disso, é a categoria mais afetada pela tecnologia *flex*.

O comportamento do mercado de veículos no Brasil demonstra uma tendência à que veículos de grande porte direcionados ao transporte de carga e passageiros, com grandes motores movidos a diesel continuarão a utilizar esse tipo de motor. Nesse segmento, o grande advento tecnológico está relacionado ao biodiesel, combustível que se utiliza de óleos de origem vegetal.

Quanto ao segmento de veículos de porte médio, classificados como utilitários leves e considerados de uso misto (passeio e trabalho), é possível perceber a tendência da coexistência dos três tipos de motores: diesel, gasolina e *flex*. Nesse segmento, devido ao alto custo dos veículos e também ao fato de que grande parte deles são produzidos fora do país, o público consumidor está menos preocupado com economia, dando mais importância a desempenho, *status* e comodidade. Dessa maneira as preferências se dividem entre os três

tipos de motorização. Mesmo assim, a participação dos motores bi-combustível neste segmento vem aumentando gradativamente.

Por fim, o segmento de automóveis se mostrou o mais afetado pela tecnologia *flex*, aqui os veículos são menores e sua destinação é o uso cotidiano, portanto o fator economia é preponderante e o benefício de poder escolher qual combustível utilizar no momento do abastecimento se transformou num grande diferencial de mercado (FERREIRA et al, 2009). Este segmento sofreu grande transformação a partir do ano de 2003 devido à implantação dos motores com tecnologia bicomcombustível. Os esforços de produção se voltaram para a substituição de motores movidos a álcool ou a gasolina por motores com essa tecnologia (Figura 11), que oferece ao usuário a possibilidade de utilizar como combustível o álcool, a gasolina ou mesmo uma mistura dos dois em qualquer proporção.

Figura 11: Vendas de automóveis por tipo de combustível

Fonte: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - Brasil / ANFAVEA.

O gráfico acima (Figura 11) mostra a progressão das vendas anuais de automóveis bicomcombustível a partir de 2003, bem como a substituição quase que completa dos veículos movidos exclusivamente a álcool. É possível observar o aumento da oferta de veículos equipados com motores *flex* como resposta das montadoras à adesão do consumidor a esse tipo de veículo.

5. MODELO TEÓRICO PROPOSTO

O modelo teórico proposto é baseado no modelo de Cournot com estabelecimento simultâneo de quantidades e equilíbrio de Nash. Será considerado um número n de usinas, $n \geq 2$, supondo que a maioria delas incorpore a tecnologia de destilaria anexa, que permite direcionar sua produção para açúcar ou álcool com certo grau de facilidade. O estoque de capital e os níveis de emprego serão considerados constantes e exogenamente determinados no curto prazo e o único insumo variável no modelo será a matéria-prima (cana-de-açúcar), cuja quantidade total processada pela usina i , em toneladas, será representada por $c_i > 0$, para $i = 1, 2, \dots, n$. Num primeiro momento, o vetor das quantidades de cana-de-açúcar processada por cada usina $|c_1, c_2, \dots, c_n|$ será considerado exógeno. O preço do álcool, P_a , expresso em reais por litro (R\$/lts), será considerado neste modelo como uma função do preço da gasolina (FERREIRA *et al*, 2009) e, portanto, considerado como variável exógena.

O modelo também considera dois processos de transformação de matéria prima em produto acabado, o primeiro referente à produção de açúcar, que gera uma determinada quantidade de álcool residual e o segundo referente à produção exclusiva de álcool. Assim, os valores médios obtidos pelo setor sucroalcooleiro, segundo dados do Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroalcooleiro e Energético (CEISE/BR, 2009) foram: na produção de açúcar, uma tonelada (1 ton) de cana gera cento e dez quilos (110 kg) de açúcar e onze litros (11 lts) de álcool, enquanto que na produção exclusiva de álcool, uma tonelada (1 ton) de cana gera oitenta litros (80 lts) de álcool. Com isso foram obtidos três coeficientes que serão utilizados no modelo: α , que representa a conversão de toneladas de cana em litros de álcool no processo de produção exclusivo de álcool, β , que representa a conversão de toneladas de cana em litros

de álcool no processo de produção de açúcar e γ , que representa a conversão de toneladas de cana em quilos de açúcar.

Dessa maneira, a função lucro (*pay-off*) da i -ésima usina, B_i , será dada por:

$$\pi_i = P_a[\alpha c_i(1 - x_i) + \beta c_i x_i] + P_s \gamma c_i x_i - P_c c_i - CF \quad (1)$$

sendo x_i a proporção de cana-de-açúcar processada a ser direcionada para a produção de açúcar e, portanto, $1 - x_i$ a proporção de cana-de-açúcar a ser direcionada para a produção exclusiva de álcool, P_c representa o preço da tonelada de cana-de-açúcar e CF os demais custos fixos de produção.

A função demanda de mercado inversa do açúcar será dada por:

$$P_s = a - b \sum_{i=1}^n \gamma c_i x_i \quad (2)$$

sendo $a > 0$ e $b > 0$, constantes paramétricas. Assim, se a firma i decide alocar a fração x_i da quantidade de cana-de-açúcar que dispõe, c_i , na produção de açúcar, então ela alocará $c_i x_i$ de cana-de-açúcar nesta linha de produto, gerando, por conseguinte, uma produção $\gamma c_i x_i$ de açúcar. Portanto, $\sum_{i=1}^n \gamma c_i x_i$ representa a produção total de açúcar no mercado.

Assim, a melhor resposta da firma i será:

$$\begin{aligned} & \underset{x_i}{\text{Max}} P_a[\alpha c_i(1 - x_i) + \beta c_i x_i] + P_s \gamma c_i x_i - P_c c_i - CF \\ & \text{s. a. } P_s = a - b \sum_{i=1}^n \gamma c_i x_i \end{aligned} \quad (3)$$

Inserindo a restrição (2) na função objetivo (1), temos:

$$\underset{x_i}{Max} P_a[\alpha c_i(1 - x_i) + \beta c_i x_i] + \left(a - b \sum_{j=1}^n \gamma c_j x_j \right) \gamma c_i x_i - P_c c_i - CF \quad (4)$$

Derivando B_i com relação à x_i e igualando a zero, temos a condição de primeira ordem:

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial x_i} = P_a[\beta c_i - \alpha c_i] - b \gamma^2 c_i^2 x_i + \left(a - b \sum_{j=1}^n \gamma c_j x_j \right) \gamma c_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Resolvendo para x_i , obtém-se a melhor resposta da usina i :

$$x_i = \frac{P_a(\beta - \alpha) + a \gamma - b \gamma \left(\sum_{j=1}^{i-1} \gamma c_j x_j + \sum_{j=1+i}^n \gamma c_j x_j \right)}{b \gamma^2 c_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

O equilíbrio de Nash deste jogo é obtido fazendo $x_i = x_j = x^*$, para todo $i, j = 1, 2, \dots, n$.

Portanto, temos o seguinte sistema de equações de equilíbrio:

$$x^* = \frac{P_a(\beta - \alpha) + a \gamma - b \gamma^2 x^* \left(\sum_{j=1}^{i-1} c_j + \sum_{j=1+i}^n c_j \right)}{b \gamma^2 c_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Se considerarmos $C = \sum_{j=1}^n c_j$, é possível fazer a seguinte simplificação:

$$x^* = \frac{P_a(\beta - \alpha) + a \gamma - b \gamma^2 x^* (C - c_i)}{b \gamma^2 c_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

(8)

Simplificando, temos:

$$x^* = \frac{P_a(\beta - \alpha) + a\gamma}{b\gamma^2 C} > 0 \quad (9)$$

Finalmente, obtemos o preço de equilíbrio de Nash no mercado de açúcar:

$$P_s^* = a - b\gamma x^* C \quad (10)$$

Substituindo (9) em (10) e simplificando, obtemos o preço de equilíbrio de Nash no mercado de açúcar em função do preço do álcool e dos coeficientes α , β e γ .

$$P_s^* = -P_a \left(\frac{\beta - \alpha}{\gamma} \right) \quad (11)$$

Este resultado demonstra, a partir do modelo teórico, a interdependência entre os preços do açúcar e do álcool. Como este último, apresenta também uma dependência com relação ao preço da gasolina, dada à estrutura de mercado de combustíveis explicada anteriormente e baseado no trabalho de Ferreira *et al* (2009), procuraremos a seguir demonstrar empiricamente o comportamento das relações entre os preços do açúcar e do álcool e entre os preços do álcool e da gasolina.

6. SÉRIES DE PREÇOS

Segundo Bacchi (2005) um primeiro aspecto a ser considerado na análise de preços no setor sucroalcooleiro é a grande variabilidade destes ao longo do tempo. Essa variabilidade refere-se não somente aos diferentes níveis observados em anos-safra consecutivos, mas também às variações entre os diferentes meses de um mesmo ano-safra. Os diferentes níveis de preços no mercado doméstico de açúcar e álcool, observados em anos consecutivos, estão diretamente relacionados aos montantes de cana-de-açúcar produzidos e à alocação dessa matéria-prima para a produção de açúcar ou de álcool. As variações dos preços ao longo dos meses do ano estão relacionadas ao ciclo produtivo da cana-de-açúcar. Nos meses de safra (abril/maio a novembro/dezembro), as necessidades de recursos financeiros das unidades produtoras de açúcar e álcool são grandes, o que motiva maior competição entre elas e queda nos preços desses produtos, comparativamente aos meses de entressafra.

Em primeiro lugar, é preciso fazer uma distinção entre as influências do preço do açúcar sobre o preço do álcool e o preço da gasolina sobre o preço do álcool. No primeiro caso, a relação acontece através do processo produtivo, como o açúcar é uma *commodity*, seu preço é estabelecido no mercado internacional e, portanto, sua oscilação interfere na decisão de produção. Assim, os preços a serem considerados para esta análise são os recebidos pelo produtor no atacado.

Por outro lado, no que se refere à relação entre os preços do álcool e da gasolina a influência está relacionada com a diferença na eficiência técnica dos dois combustíveis, eficiência esta que terá impacto no comportamento do consumidor. Assim, os preços a serem considerados para avaliar esta relação serão os praticados no varejo de combustíveis, diferente do que foi realizado por

Ferreira *et all* (2009), que trabalhou com preços no atacado. Assim, parte-se do pressuposto que o preço do álcool será determinado dentro de uma faixa, balizado acima pelo preço da gasolina no varejo, parametrizado pela eficiência técnica dos dois combustíveis, e abaixo pelo preço do açúcar no atacado, parametrizado pela eficiência produtiva.

A série de preços do açúcar analisada (P_s) foi extraída da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da ESALQ/USP. Foram utilizados os valores pagos ao produtor das sacas de 50 quilos divididos por 50 para se encontrar o valor por quilo (R\$/kg), do açúcar cristal com mínimo de polarização de 99,7 graus, máximo de 0,10% de umidade, cor ICUMSA mais freqüente 130 - 180, máximo de 0,07% de cinzas, ensacado em sacas novas de polipropileno, destinado ao mercado interno, sem frete, acrescido de ICMS (7%) e PIS/Cofins (9,25%), ponderado pelo volume médio regional do produto direcionado ao mercado doméstico das unidades do estado de São Paulo. Série diária disponível a partir de abril de 1997, avaliada a partir de fevereiro de 1999, transformada em mensal e trazida a valor presente utilizando o INPC-IBGE pelo autor desse estudo.

No caso do preço do álcool (P_a), para avaliação da relação com o preço do açúcar, foi utilizado o valor pago ao produtor por litro (R\$/lts) de álcool hidratado, tipo utilizado como combustível. Série extraída da base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da ESALQ/USP. O álcool considerado obedece às especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP), é considerado sem impostos e sem frete, o levantamento é realizado no estado de São Paulo e os valores são ponderados por volume comercializado pela unidade de produção, valores a prazo são descontados pela taxa do CDI (Certificado de Depósito Interbancário), com levantamento diário e divulgação mensal, a série está disponível a partir de fevereiro de 1999 e foi trazida a valor presente utilizando o INPC-IBGE pelo

autor. Ambas as séries de preços caracterizadas acima foram consideradas a partir de fevereiro de 1999, data da última mudança do regime cambial pelo Banco Central do Brasil e estão representadas no gráfico a seguir (Figura 12).

Figura 12: Preços do açúcar e álcool ao produtor - estado de São Paulo

Fonte: CEPEA – ESALQ/USP

Para a análise da relação entre os preços do álcool e da gasolina foram utilizadas as séries de preços do álcool hidratado (P_a) e da gasolina C (P_g) da base de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), Sistema de Índices de Preços ao Consumidor (SIPC), preços médios medidos no varejo das onze principais capitais metropolitanas do país (Rio de Janeiro, Porto Alegre, Belo Horizonte, Recife, São Paulo, Brasília, Belém, Fortaleza, Salvador, Curitiba e Goiânia), disponíveis a partir de julho de 1994 até agosto de 2008. A série utilizada é a média simples dos preços destas onze capitais, pois não foi possível ponderar os preços pelo consumo das mesmas dado que os volumes consumidos por cada uma destas cidades não foi encontrado. Os dados utilizados foram trazidos a valor presente utilizando o INPC-IBGE pelo autor e foram considerados a partir de fevereiro de 1999, data da última mudança do

regime cambial pelo Banco Central do Brasil. As séries estão representadas no gráfico abaixo (Figura 13).

Figura 13: Preços da gasolina e álcool no varejo - média 11 capitais

Fonte: IBGE – SIPC

A partir do modelo teórico descrito anteriormente, manipulando a equação 11, foi possível estabelecer a seguinte relação entre os preços do açúcar e do álcool no atacado:

$$\frac{P_s}{P_a} = - \left(\frac{\beta - \alpha}{\gamma} \right) \quad (12)$$

Esta relação, que foi obtida empiricamente dividindo os preços do açúcar cristal pelos preços do álcool, ambos no atacado, está representada no gráfico a seguir (Figura 14). Conforme retratado na equação 12 anterior, a expectativa em torno desta série é que haja uma convergência para o valor representado pela relação entre os coeficientes técnicos de transformação de cana-de-açúcar em álcool e açúcar.

Figura 14: Relação entre os preços do açúcar e do álcool (Ps/Pa)

Fonte: CEPEA – ESALQ/USP

A outra relação a ser testada é a existente entre os preços do álcool e da gasolina, ambos no varejo.

$$\frac{P_a'}{P_g} = 0,7 \quad (13)$$

Conforme representado na equação 13, existe uma expectativa de que esta série seja convergente para um valor próximo a 0,7, que representa a diferença entre a eficiência técnica desses dois combustíveis. Os valores obtidos empiricamente através da razão descrita acima estão representados no gráfico a seguir (Figura 15).

Figura 15: Relação entre os preços da gasolina e do álcool (Pa/Pg)

Fonte: IBGE – SIPC

7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada neste estudo inicia-se com os testes para checar a presença de raiz unitária, essa metodologia foi proposta inicialmente nos trabalhos de Fuller (1976) e Dickey & Fuller (1979; 1981), sendo completada posteriormente pelos trabalhos de Phillips & Perron (1988).

A ordem de integração de uma variável diz respeito ao número de vezes que a série deve ser diferenciada (diferença do tipo $x_t - x_{t-1}$) para que ela se torne estacionária, ou seja, a série deve ter média e variância constantes ao longo do tempo e covariância dependendo apenas do intervalo de tempo (Gujarati, 2000). Conforme definem Engle & Granger (1987), uma série sem componente determinístico, com representação ARMA (processos auto-regressivos de médias móveis), estacionária, invertível, após d diferenças, é dita ser integrada de ordem d , denotada por $x_t \sim I(d)$. Portanto, a ordem de integração de uma variável representa o número de vezes que uma série precisa ser diferenciada para se tornar estacionária, ou seja, se uma variável é integrada de ordem 1, ela precisa ser diferenciada uma vez para atingir a estacionariedade.

Supondo que o processo gerador de dados é um passeio aleatório (*random walk*) dado por:

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (14)$$

com ε_t independente e identicamente distribuído (iid), com média zero e variância σ^2 . Após substituições sucessivas, tem-se:

$$x_t = \sum_{j=1}^t \varepsilon_j, \quad \text{se } x_0 = 0 \quad (15)$$

onde x_t é a somatória de ε_t e $\Delta x_t = \varepsilon_t$ é $I(0)$, sendo Δ o operador defasagem, tal que $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$. Desse modo, tem-se que x_t é $I(1)$, pois uma diferença foi suficiente para que a série se tornasse estacionária, diz-se então que a série tem uma raiz unitária.

Dessa forma, um processo é integrado de ordem 1 [$I(1)$] se x_t é não-estacionária mas a primeira diferença de x_t [Δx_t] é estacionária. O primeiro teste de raiz unitária foi desenvolvido por Fuller (1976) e é considerando um processo auto-regressivo de ordem 1 [AR(1)], conforme descrito a seguir:

$$x_t = \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (16)$$

com ε_t ruído branco. A hipótese nula é que x_t é não-estacionário. Assim, tem-se que: $H_0: \rho = 1$ contra $H_A: \rho < 1$, o que equivale a testar em:

$$\Delta x_t = (\rho - 1)x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (17)$$

a hipótese $H_0: \rho - 1 = 0$ contra $H_A: \rho - 1 < 0$.

A aceitação da hipótese nula indica que o processo tem raiz unitária e, portanto, é não-estacionário. Para a realização deste teste de hipótese, utiliza-se como processo de estimação o método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). No entanto, os testes de presença de raiz unitária e/ou de estacionariedade da série não utilizam a distribuição padrão t de *Student*, mas os valores das distribuições denominadas τ as quais constam em Fuller (1976).

Considerando modelos que incorporam termos relacionados com a presença de intercepto e tendência, têm-se, respectivamente:

$$x_t = \alpha + \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (18)$$

e

$$x_t = \alpha + \beta_t + \rho x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (19)$$

A estatística utilizada no caso de modelos com intercepto é denominada de τ_μ e, para se testar a presença de tendência, utiliza-se a estatística τ_τ . Entretanto, é possível testar de maneira conjunta a presença de um termo de intercepto e/ou tendência e de raiz unitária, cujos testes são denominados $\emptyset$ e consorespondem a um teste F. No caso do teste denominado de $\emptyset_1$, testa-se a hipótese de que $(\alpha, \rho) = (0, 1)$ contra a hipótese de que $(\alpha, \rho) \neq (0, 1)$. No teste $\emptyset_2$, a hipótese nula é que $(\alpha, \beta, \rho) = (0, 0, 1)$ contra a hipótese alternativa de que $(\alpha, \beta, \rho) \neq (0, 0, 1)$. Por fim, na estatística $\emptyset_3$ a hipótese nula é que $(\alpha, \beta, \rho) = (\alpha, 0, 1)$ contra a hipótese alternativa de que $(\alpha, \beta, \rho) \neq (\alpha, 0, 1)$. Os valores críticos para essas distribuições estão tabulados em Dickey & Fuller (1981).

Se a série for descrita por um processo auto-regressivo de ordem p , tem-se, para fim do teste, o seguinte modelo:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta_t + \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (20)$$

onde: $\lambda_t = -\sum_{j=i+1}^p \rho_j$ e $\gamma = \sum_{i=1}^p \rho_i - 1$. Nesse caso, a presença de raiz unitária é testada pela hipótese $H_0: \gamma = 0$. O teste de raiz unitária, nesse caso, é denominado teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF).

Vários procedimentos têm sido utilizados para a determinação do valor de p , podendo-se citar os critérios de Akaike (AIC) e Schwarz (SC):

$$AIC = \ln \hat{\sigma}^2 + \left(\frac{2}{T}\right) (\text{número de parâmetros}) \quad (21)$$

$$SC = \ln \hat{\sigma}^2 + \left(\frac{\ln T}{T}\right) (\text{número de parâmetros}) \quad (22)$$

onde $\hat{\sigma}^2$ é a soma dos quadrados dos resíduos do processo auto-regressivo de ordem p e T refere-se ao número de observações da amostra. Partindo de uma especificação geral (12 defasagens da variável dependente, por exemplo, se a série de dados utilizada for mensal), são feitos ajustamentos sucessivos eliminando-se as defasagens uma a uma, tomando-se como o modelo mais adequado aquele que apresentar o menor valor para ambos os critérios. O teste Q

de Ljung Box, por sua vez, dá uma indicação da existência ou não de auto-correlação serial, podendo ser utilizado como procedimento auxiliar na determinação do valor de p .

Pode-se resumir o teste de raiz unitária de acordo com o procedimento seqüencial proposto por Enders (1995):

1. Estimar uma auto-regressão contendo um intercepto e uma variável tendência, considerando as defasagens determinadas pelos testes de AIC e SC, ou seja:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta_t + \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (23)$$

2. Testa-se a hipótese que $\gamma = 0$ utilizando-se a estatística τ_γ ;
3. Se a hipótese não for rejeitada, utiliza-se a estatística τ_{β_t} para testar $\beta = 0$. Se esta hipótese for rejeitada, testa-se $\gamma = 0$ usando a distribuição normal;
4. Se a hipótese $\beta = 0$ não for rejeitada, deve-se estimar o modelo sem a variável tendência, mas com intercepto:

$$\Delta x_t = \alpha + \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (24)$$

5. Baseando-se nessa auto-regressão, deve-se testar a hipótese de $\gamma = 0$ utilizando-se a estatística τ_μ ;
6. Sua não-rejeição leva a testar a hipótese de que $\alpha = 0$, utilizando a estatística $\tau_{\alpha\mu}$. Caso se rejeite essa hipótese, testa-se $\gamma = 0$ usando a distribuição normal;
7. não se rejeitando a hipótese $\alpha = 0$, estima-se o modelo sem intercepto e tendência:

$$\Delta x_t = \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (25)$$

8. Deve-se testar $\gamma = 0$ utilizando a estatística τ . Se essa hipótese não puder ser rejeitada, conclui-se que esse processo gerador da série possui raiz

unitária. Portanto, deve-se trabalhar com a variável diferenciada e não em nível;

9. Se isso ocorrer, repete-se o processo, porém considerando uma diferença a mais, para verificar se a série é $I(1)$. Se essa hipótese mais uma vez não for rejeitada, continua-se o processo (aumentando-se o número de diferenças) até que o teste apresente-se significativo. Normalmente uma ou duas diferenças são suficientes.

É comum observar mudanças de comportamento nas séries temporais dependendo do período compreendido na análise. Estas mudanças podem estar relacionadas a fatores externos que de alguma forma influenciam as séries causando alterações quanto a tendência e até mesmo mascarando um processo estacionário. Assim os testes para identificar a presença de raiz unitária evoluíram no sentido de identificar quebras estruturais nas séries.

Segundo Ferreira e Silva (2009), os testes mais antigos encontrados na literatura econômica foram propostos por Chow (1960), para variáveis estacionárias com quebra única. Em seguida Perron (1989) propôs um teste do tipo Dickey-Fuller (DF) para três tipos de funções deterministas, com quebra em T_B . O próprio Perron (1989), mais tarde, utiliza esses testes para variáveis “destrendadas”. Finalmente Zivot e Andrews (1992) transformaram o teste de Perron, condicional a uma mudança estrutural em um ponto conhecido, em um teste de raiz unitária não condicional.

Nessa linha, Lee e Strazicich (2003) – baseados em Schmidt e Phillips (1992) – propuseram uma metodologia de teste endógeno de raiz unitária (teste LM), baseada no multiplicador de Lagrange (ML), em que a possibilidade de duas quebras é considerada nas hipóteses nula e alternativa. A idéia é que a hipótese alternativa implique um processo estacionário na tendência.

O teste LM considera o seguinte processo de geração dos dados (DGP):

$$y_t = \delta' Z_t + e_t \quad e_t = \beta e_{t-1} + \varepsilon_t ,$$

em que Z_t é o vetor de variáveis exógenas e $\varepsilon \sim iid N(0, \sigma^2)$.

Duas quebras estruturais são consideradas em dois modelos alternativos. O Modelo A permite duas mudanças em nível e é descrito por $Z_t = [1, t, D_{1t}, D_{2t}]'$, em que $D_{jt} = 1$ para $t \geq T_{Bj} + 1$ e 0 de outra forma, $j = 1, 2$. O Modelo C inclui duas mudanças em nível e na função tendência e é descrito por $Z_t = [1, t, D_{1t}, D_{2t}, DT_{1t}, DT_{2t}]'$, em que $DT_{jt} = 1$ para $t \geq T_{Bj} + 1$ e 0 de outra forma. Dessa maneira, as quebras são consideradas tanto nas hipóteses alternativas quanto nas nulas. Por exemplo, no Modelo A, dependendo do valor de β , tem-se:

$$H_0: y_t = \mu_0 + d_1 B_{1t} + d_2 B_{2t} + y_{t-1} + v_{1t} , \text{ contra} \quad (26)$$

$$H_A: y_t = \mu_1 + \gamma t + d_1 D_{1t} + d_2 D_{2t} + v_{2t} \quad (27)$$

em que v_{1t} e v_{2t} são termos de erro estacionários, $B_{jt} = 1$ para $t = T_{Bj} + 1$, e 0 de outra forma, e $d = (d_1, d_2)'$. No Modelo C, os termos D_{jt} são adicionados na equação (26), e os termos DT_{jt} , na equação (27). A formulação das hipóteses, nesse caso, segue o mesmo princípio adotado em Perron (1989).

O teste LM de duas quebras estruturais é estimado por regressão, de acordo com o princípio do multiplicador de Lagrange:

$$\Delta y_t = \delta' \Delta Z_t + \phi \tilde{S}_{t-1} + u_t \quad (28)$$

em que $\tilde{S}_{t-1} = y_t - \tilde{\psi}_x - Z_t \tilde{\delta}$; $\tilde{\delta}$ são os coeficientes da regressão de Δy_t em ΔZ_t ; $\tilde{\psi}_x$ é dado por $y_1 - Z_1 \tilde{\delta}$; sendo que y_1 e Z_1 denotam as primeiras observações de y_t e Z_t , respectivamente. A hipótese nula de raiz unitária é dada por $\phi = 0$, e as estatísticas do teste LM são:

$$\tilde{\rho} = T \tilde{\phi}$$

$\tilde{\tau}$ = estatística t da hipótese nula $\phi = 0$.

O critério de escolha dos pontos de quebra (T_{Bj}) é o mesmo adotado em Zivot e Andrews (1992), Perron (1997) e Lumsdaine e Papell (1997), isto é, T_{Bj} é novamente selecionado de forma a maximizar a possibilidade de rejeição da hipótese nula de raiz unitária. O número de termos defasados da primeira diferença (k) é escolhido conforme o critério “do geral para o específico”, na forma já descrita.

8. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise econométrica dos dados foi realizada utilizando-se o programa EViwes 5 para a realização dos testes de raiz unitária sem quebras e Oxmetrics para os testes com quebras estruturais. As séries de preços descritas acima foram logaritmizadas pelo *log-normal* e, em seguida, testadas para determinar a forma funcional e a presença de raiz unitária no processo auto-regressivo, primeiramente sem e em seguida com quebras estruturais.

Inicialmente, para se determinar a presença de constante, tendência e do número de defasagens da função de auto-regressão de cada uma das séries de preços, utilizou-se o teste ADF (Augmented Dickey-Fuller). Com esse teste obteve-se os resultados apresentados na tabela abaixo (Figura 16).

Figura 16: Forma funcional das séries de preços

<i>Séries</i>	<i>Defasagens</i>	<i>Constante</i>	<i>Tendência</i>
<i>Ps</i>	- 1	Sim	Não
<i>Pa</i>	- 3	Sim	Não
<i>Pg</i>	- 1	Sim	Não
<i>Pa'</i>	- 1	Sim	Não

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViwes 5

Na sequência, foram realizados os testes DF-GLS (Dickey-Fuller GLS) e Ng-Perron, mais robustos do que o ADF, para se determinar a presença de raízes unitárias nas funções dos preços. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela a seguir (Figura 17). É possível observar que todas as séries de preços analisadas apresentam indicação da presença de raiz unitária em seus processos auto-regressivos em nível, o que as aproxima de um processo do tipo passeio aleatório (*random walk*). Isoladamente, apenas na série de preços do açúcar a

presença de raiz unitária foi aceita com 5% de significância, sendo que nas demais o grau de significância foi de 10%, o que representa um indício bastante forte da presença de tal raiz. Com isso é possível concluir que os preços analisados não apresentam um padrão de comportamento e muito menos têm um comportamento estacionário.

Figura 17: Testes de raiz unitária nas séries de preços

<i>Testes</i>		<i>DF-GLS</i>	<i>Ng-Perron - MZa</i>
<i>Valores Críticos</i>	1%	-2.583593	-13.8000
	5%	-1.943406	-8.10000
	10%	-1.615024	-5.70000
<i>Séries</i>	<i>Estatísticas Calculadas</i>		
<i>Ps</i>	-1.756976	-7.11547	
<i>Pa</i>	-1.588409	-3.95573	
<i>Pg</i>	-0.249042	-0.28831	
<i>Pa'</i>	-1.407905	-4.20149	

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViwes 5

De posse desses resultados, realizou-se os mesmos testes descritos acima para as séries do *log-normal* da razão entre os preços do açúcar e do álcool no atacado (P_s/P_a) e também do *log-normal* da razão entre os preços do álcool e da gasolina no varejo (P_a'/P_g). Este procedimento objetivou verificar se, apesar dos preços terem um comportamento aleatório, as razões entre eles apresentam comportamento estacionário.

Na tabela a seguir (Figura 18) é possível verificar os resultados do teste ADF quanto à definição da forma funcional das séries. Ambas apresentaram indicação da presença de constante, mas não de tendência e se estabilizam com uma defasagem.

Figura 18: Forma funcional das séries das razões de preços

<i>Séries</i>	<i>Defasagens</i>	<i>Constante</i>	<i>Tendência</i>
<i>Ps/ Pa</i>	- 1	Sim	Não
<i>Pa' / Pg</i>	- 1	Sim	Não

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViews 5

Os resultados dos testes DF-GLS e Ng-Perron para as séries dos preços relativos estão demonstrados na tabela abaixo (Figura 19). É possível observar que a série do preço do açúcar em relação ao álcool no atacado (Ps/Pa), apesar de aceitar a presença de raiz unitária a 1% de significância, rejeita acima de 5%, o que representa indício de estacionariedade. Já a série do preço do álcool em relação à gasolina no varejo rejeita fortemente a presença de raiz unitária, indicando fortemente a estacionariedade do processo.

Figura 19: Testes de raiz unitária nas séries das razões de preços

<i>Testes</i>		<i>DF-GLS</i>	<i>Ng-Perron - MZa</i>
<i>Valores Críticos</i>	<i>1%</i>	-2.583593	-13.8000
	<i>5%</i>	-1.943406	-8.10000
	<i>10%</i>	-1.615024	-5.70000
<i>Séries</i>	<i>Estatísticas Calculadas</i>		
<i>Ps/ Pa</i>		-2.355276	-10.5868
<i>Pa' / Pg</i>		-3.106688	-19.3309

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViews 5

Neste ponto é possível observar um resultado importante, mesmo com as séries de preço apresentando comportamento não estacionário, os preços relativos, por sua vez, demonstram serem estacionários. Com isso, os valores para os quais as séries dos preços relativos convergem serão calculados a partir da forma funcional e dos coeficientes obtidos no teste ADF. Conforme

explicado anteriormente, a equação do teste ADF, com constante mas sem tendência será:

$$\Delta x_t = \alpha + \gamma x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (26)$$

onde $\gamma = (\rho - 1)$.

Ignorando os aumentos $\sum_{i=1}^{p-1} \lambda_t \Delta x_{t-i}$ e aplicando equação em diferenças, obtêm-se:

$$x_t = \alpha + \rho x_{t-1} \quad (27)$$

Aplicando o operador esperança, obteve-se o valor esperado da série estacionária:

$$E(x_t) = E(x_{t-1}) = \dots = E(x_{t-n}) = \frac{\alpha}{1 - \rho} \quad (28)$$

Assim, a partir desta equação, pode-se calcular os valores esperados das razões dos preços. Lembrando que será necessário considerar o exponencial dos valores encontrados, pois as séries em questão estão em *log-normal*. Os resultados são apresentados na tabela abaixo (Figura 20).

Figura 20: Valores esperados das séries estacionárias

<i>Séries</i>	<i>A</i>	$\gamma = (\rho - 1)$	$\frac{\alpha}{1 - \rho}$	$e^{\frac{\alpha}{1 - \rho}}$
<i>Ps/ Pa</i>	-0.021714	-0.161121	-0,134768	0,873918
<i>Pa' / Pg</i>	-0.085041	-0.202747	-0,419444	0,657412

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no EViwes 5

Ao observar esses resultados, é possível perceber que o valor de convergência do preço relativo do álcool e da gasolina (0,657412) se aproxima bastante da relação entre os preços estabelecida pela diferença na eficiência

técnica desses dois combustíveis (0,7). Com relação ao valor de convergência da série relativa entre o preço do açúcar e do álcool, o cálculo e a comparação com o valor obtido a partir do modelo teórico serão apresentados posteriormente.

A seguir, será exposto o resultado dos testes de Lee e Strazicich (2003) considerando quebras estruturais nas séries dos preços relativos (Figura 21). Embora estas séries tenham apresentado estacionariedade mesmo sem quebras, serão investigadas possíveis quebras desconhecidas para que se possa melhorar a modelagem das mesmas. Como foi explicado anteriormente, o teste LM conta com duas opções, o modelo A, que permite duas mudanças no nível e o modelo C, que permite duas mudanças no nível e na tendência. No caso das séries analisadas o modelo C se mostrou mais adequado.

Figura 21: Testes LM de raiz unitária para duas quebras

<i>Séries</i>	<i>Def.</i>	<i>Quebras significativas</i>		<i>Estat. Teste</i>	λ
<i>Ps/ Pa</i>	18	Mar/2002 nível ↓ / tend. ↑	Mar/2004 nível ↑ / tend. ↓	- 5,6276 *	0,25; 0,85
<i>Pa' / Pg</i>	16	Dez/2002 nível ↓ / tend. ↑	-	- 5,2654 ***	0,41;

*, ** e *** representam a significância a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

λ é a razão entre o ponto da quebra e a dimensão temporal.

Os valores críticos são simétricos em torno de λ e $(1 - \lambda)$, onde $\lambda_i = \frac{T_{Bi}}{T}$ e pode ser interpolado nos pontos de quebra adicionais.

Fonte: Elaborada pelo autor a partir dos dados obtidos no Oxmetrics

A série de preços relativos entre o açúcar e o álcool apresentou significância nas duas *dummies* de quebra, tanto no nível quanto na tendência. Rejeitando a hipótese de raiz unitária com 5% de significância e, portanto, indicando estacionariedade. Os pontos de quebra foram nos meses de março de 2002 (38) e março de 2004 (62). No primeiro, os resultados apontam para uma

diminuição no nível e um aumento na tendência. No segundo, contrariamente, um aumento no nível e uma diminuição na tendência.

Para a série de preços relativa entre o álcool e a gasolina, a hipótese nula de raiz unitária é rejeitada a 1% de significância, com isso, pôde ser considerada estacionária. Os pontos de quebra são dezembro de 2002 (47) e junho de 2006 (89). Entretanto, apenas o primeiro mostrou-se significativo, indicando uma quebra no nível e na tendência em dezembro de 2002 no sentido de, respectivamente, reduzir e aumentar os seus valores.

A questão que chama a atenção para a quebra apontada na série do preço relativo entre álcool e gasolina é a introdução dos veículos bi-combustíveis à partir de janeiro de 2003.

Os resultados empíricos observados confirmam o cenário apontado pelo modelo teórico proposto, mesmo sendo este bastante simplificado. Como demonstrado anteriormente, ao testar as séries de preços do açúcar e dos combustíveis para verificar a presença de raiz unitária (Figura 17), observou-se que as mesmas têm um comportamento aleatório, não obedecendo a um padrão e não demonstrando serem estacionárias. Por outro lado, as séries dos preços relativos não apresentaram raiz unitária (Figura 19) e, portanto, foram consideradas estacionárias. Com isso buscou-se a esperança matemática dos preços relativos e chegou-se aos seguintes resultados:

$$E\left(\frac{P_s}{P_a}\right) \cong 0,873918$$

$$E\left(\frac{P_a'}{P_g}\right) \cong 0,657412$$

De posse desses resultados, é possível realizar uma comparação com os valores apontados pelo modelo teórico. No primeiro caso, a relação entre os preços do açúcar e do álcool no atacado se iguala a uma relação entre a

eficiência técnica produtiva do açúcar e do álcool (equação 12). Substituindo os valores no lado direito desta equação pelas médias alcançadas pelo setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo, conforme dados do CEISE/BR (2009) obtém-se:

$$\frac{P_s}{P_a} = -\frac{(\beta - \alpha)}{\gamma} = -\left(\frac{11 - 80}{110}\right) \cong 0,627273$$

Embora os valores encontrados sejam bastante diferentes, existe uma justificativa plausível para tal ocorrência, que é o fato de que a eficiência técnica da extração de álcool e açúcar a partir da cana-de-açúcar vem sendo alterada drasticamente pela tecnologia, além de que estes valores oscilam bastante com relação à quantidade de chuvas e à fertilidade do solo utilizado para o plantio. É interessante observar que a estacionariedade desta série foi obtida com baixo grau de significância, demonstrando que a mesma apresenta alguma variação aleatória. De qualquer forma, a conclusão a que se chega é de que o preço do açúcar estabelece um balizador para o preço do álcool, via processo produtivo. Isso acontece porque os preços do açúcar, que é uma *commodity*, são estabelecidos no mercado internacional. Assim, essa relação tende a ficar mais forte à medida que as plantas produtivas instaladas estão sendo transformadas no tipo refinaria com destilaria anexa, hoje elas representam 60% do total (MAPA, 2009).

No caso da relação entre os preços do álcool e da gasolina as evidências no sentido de confirmar a relação teórica são mais consistentes. O número obtido empiricamente (0,657412), utilizando-se as séries de preços no varejo, representa um valor bastante próximo da relação esperada entre os preços dos dois combustíveis devido a eficiência técnica (0,70). A diferença, provavelmente, está associada ao percentual de veículos bi-combustíveis existentes na frota nacional e, quanto maior esta proporção, mais estes números devem se aproximar (Ferreira *et al*, 2009).

Por fim, ao observar os resultados dos testes com quebras, o resultado mais interessante foi a quebra apresentada na relação entre os preços do álcool e da gasolina em dezembro de 2002, justamente um mês antes de ingressarem no mercado os primeiros veículos equipados com motores *flex fuel*. Esse resultado demonstra que a introdução dos carros com motores bi-combustível afetou a relação entre os preços da gasolina e do álcool no mercado de varejo.

Para as quebras na série dos preços relativos entre o açúcar e o álcool, a explicação vem do mercado internacional, que ocasionou fortes oscilações nos preços do açúcar nestas duas datas acarretando mudanças nas relações entre os preços destes produtos. A partir de março de 2002 os preços do açúcar sofrem uma forte queda, passando de R\$ 1,05 para R\$ 0,61 em julho, uma queda de 42% em três meses. Já em março de 2004 no mesmo intervalo de tempo os preços do açúcar subiram de R\$ 0,45 para R\$ 0,70 em junho, alta de 56%, continuando a subir até novembro deste mesmo ano para R\$ 1,05, acumulando de março a novembro uma alta de 133%. A conclusão que se chega é que estas oscilações, motivadas pelo mercado internacional levaram a alterações na relação entre os preços do álcool e do açúcar no atacado, ocasionando as quebras estruturais detectadas.

No cômputo geral, este estudo demonstrou que os preços do álcool combustível têm sua oscilação balizada pelos preços da gasolina no varejo, e do açúcar no atacado, determinando com isso uma faixa dentro da qual o preço deste produto oscila.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao observar o histórico do setor sucroalcooleiro, fica clara a dependência do mesmo das flutuações nos preços de seus principais produtos: o álcool combustível e o açúcar. Nas últimas duas décadas, os mercados abrangidos por esse setor passaram de um estado de total controle de preços por parte do Estado para uma condição de livre concorrência. No caso do açúcar, a dependência com relação ao mercado internacional manteve o setor refém das oscilações no câmbio e na oferta por parte de outros países. No caso do álcool combustível, que surgiu como um produto praticamente subsidiado pelo governo, a condição de livre mercado trouxe a necessidade de reinvenção deste produto, o que ocorreu com a inserção dos veículos bi-combustíveis a partir de 2003.

As características distintas relacionadas a esses dois produtos se inter-relacionam dentro do processo produtivo, no momento em que a indústria precisa decidir entre a produção de um ou do outro produto. Dessa maneira, os mercados de combustíveis e de alimentos encontram um ponto em comum na planta produtiva da indústria sucroalcooleira.

Ao analisar as relações entre os preços do açúcar, do álcool combustível e da gasolina, tanto no mercado atacadista quanto no mercado varejista, foi possível observar um comportamento que confirmou a hipótese de existir uma relação entre os preços desses produtos. No estudo das séries de preços foi possível observar que apesar dos preços apresentarem individualmente um comportamento aleatório, as relações entre eles, qual seja a razão entre o preço do açúcar e o preço do álcool no atacado e a razão do preço do álcool e o preço da gasolina no varejo, apresentam comportamento estacionário. Confirmando a hipótese de que os preços citados, dois a dois, mantêm uma relação estável, indicando co-integração entre eles.

Mais do que isso, o valor da esperança matemática da série auto-regressiva do preço relativo do álcool e da gasolina no varejo (0,657412), ficou bastante próximo ao da diferença na eficiência técnica dos dois combustíveis (0,7). O que mostra uma possível convergência do preço do álcool para essa última razão apresentada à medida que a proporção de veículos com motores *flex* aumenta, confirmando a suposição levantada por Ferreira *et all* (2009).

Os testes com quebras também demonstraram resultados relevantes, mas o que mais chamou a atenção se refere à encontrada em dezembro de 2002, também na série de preços relativa do álcool e da gasolina. Isso porque em janeiro de 2003 ocorreu a introdução dos veículos com motores *flex*. Esse resultado indica uma mudança no comportamento do consumidor, que passa a poder optar, no momento do abastecimento, entre um ou outro combustível baseado nos preços vigentes.

Os resultados apurados na análise do preço relativo do açúcar e do álcool no atacado também foram significativos, no sentido de demonstrar a forte dependência com relação ao setor externo, bem como uma maior oscilação derivada deste último mercado. O açúcar, enquanto *commodity*, apesar de ter demanda garantida, tanto no mercado interno quanto no externo, sofre, como já foi dito, com as oscilações do câmbio e do mercado internacional. Neste ponto uma diferença com relação ao preço da gasolina que, apesar de estar relacionada ao petróleo, também uma *commodity* internacional, tem sua oscilação amortecida no mercado interno pelas políticas da Petrobras e do Governo.

Como indicação para estudos futuros, sugere-se uma análise utilizando-se a ferramenta do Vetor Auto Regressivo (VAR) e da Correção de Erro Vetorial (VEC), com as quais será possível realizar uma investigação mais detalhada destas relações de preços. Além disso, a inclusão dos preços do petróleo na análise pode trazer resultados interessantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. R. D.; BARROS, G. S. A. de C., **Transmissão de preços de laranja entre os mercados externo e interno**. Revista de Economia e Sociologia Rural, nº 27 (1); p.61-70, 1989.

ALVES, L. R. A. **Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado, ESALQ, Piracicaba, 2002

ALVES, L. R. A.; BACCHI, M. R. P. **Transmissão de preços entre produtos da agricultura canavieira do estado de São Paulo**. Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Juiz de Fora, MG, 2003. Anais, Associação Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Brasília, DF.

ALVES, L. R. A.; BACCHI, M. R. P. **Oferta de exportação de açúcar no Brasil**. Revista de Economia Rural, vol. 42, nº 01, p. 09-33, Rio de Janeiro, RJ, jan/mar 2004.

ANFAVEA; Tabelas estatísticas, disponível em: <http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>. Acessado em dezembro de 2009.

BACCHI, M. R. P. **Formação de preços no setor sucroalcooleiro da região centro-sul do Brasil: relação com o mercado de combustível fossil**. XXXIII Encontro Nacional de Economia, Natal, RN, 2005. Anais, ANPEC, Brasília, DF.

BARROS, G. S. C.; BURNQUIST, H. L. **Causalidade e transmissão de preços agrícolas entre os níveis de atacado e varejo**. Encontro Latino Americano da Econometric Society, 7, São Paulo, 1987. v.1, p.175-90. Anais. 1987.

BURNQUIST, H. L. **A questão da causalidade entre preços a diferentes níveis de mercados agrícolas**. Piracicaba-SP, 1986. 83p. Dissertação – ESALQ, USP.

BURNQUIST, H. L.; BACCHI, M. R. P.; MARJOTTA-MAISTRO, M. C. **Análise da comercialização dos produtos do setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução, contexto institucional e desempenho.** In: MORAES, M. A. F. D. de; SHIKJDA, P. F. A. (Org.). *Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios.* São Paulo: Atlas, 2002. cap.8, p.182-198.

BIANCHINI, V. K.; ASSUMPÇÃO, M. R. **A diferenciação de produtos na cadeia produtiva do açúcar: o processo de produção dos açúcares líquido e líquido invertido.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, PR, 2002.

BROWN, R. I. **Um esquema para avaliar os impactos de estratégias diversas para etanol: outras substituições e racionalização da demanda de derivados de petróleo.** *Ciência e Cultura*, v.32, no.8, p.1032-40, ago. 1980.

CEPEA/ESALQ - São Paulo; Séries de preços disponíveis em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/acucar/>. Acessado em dezembro de 2009.

CHAREMZA, W. W.; DEADMAN, D. *New Directions in Econometric Practice: General to Specific Modelling, Cointegration and Vector Autoregression.* 2nd Ed., Ashgate Pub Co.; 1993.

COSTA, C. C. da. **Formação de preços de açúcar e álcool combustível anidro e hidratado no Estado de São Paulo.** Piracicaba 2001. 104p. Dissertação – ESALQ, USP.

DE ZEN, S. **Integração entre os mercados de boi gordo e de carne bovina nas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil.** Piracicaba, 1997. 81p. Dissertação – ESALQ, USP.

DAVIDSON, R.; MacKINNON, J. G. **Econometric Theory and Methods.** Oxford University Press, 2003.

ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series.** Wiley, 1995.

FERREIRA, A. L.; PRADO, F. P. A.; SILVEIRA, J. J. ***Flex cars and the alcohol price***. Journal of Energy Economics, nº 31, p. 382 – 394, Elsevier, 2009.

FERREIRA, A. L. e SILVA, R. da. **Real interest parity decomposition**. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 489-512, julho-setembro 2009.

GRANGER, C. W. J. **Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods**. Econometrica, v. 37, n. 3, p. 424-438, 1969.

GUJARATI, D. **Econometria Básica**. 3ª ed., Makron Books, São Paulo, 2000.

HAMILTON, J. D. **Time series analysis**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

HART. **Ethanol Market Fundamentals; Providing the basic keys to understanding the growing market for fuel-grade ethanol in the U.S. and beyond**. Disponível em <http://www.nybot.com>.

HAYASHI, F. **Econometrics**, Princeton University Press , 2000.

HENDRY, D. F. **Dynamic Econometrics**. Advanced Texts in Econometrics, Oxford, University Press, 1995. HSIAO, C. **Analysis of Panel Data**. Econometric Society Monographs nº 11, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 1986.

LEE, J.; STRAZICICH, M. C. **Minimum Lagrange multiplier unit root test with two structural breaks**. The Review of Economics and Statistics, v. 85, n. 4, p. 1082-1089, 2003.

MADDALA, G. S.; KIM, I. M. **Unit roots, cointegration and structural change**. Cambridge University Press, 1998.

MAFIOLETTI, R.L. **Formação de preços na cadeia agroindustrial da soja na década de 90**. Piracicaba, 2000. 95p. Dissertação – ESALQ, USP.

MARJOTTA-MAISTRO, M. C. **Ajustes nos mercado de álcool e gasolina no processo de desregulamentação**. Tese de Doutorado, ESALQ, Piracicaba, 2002. 180p.

MELO, A. S.; MOTA, D. G.; LIMA, R. C. **Uma análise da relação entre os preços dos biocombustíveis e das culturas alimentares no brasil: o caso do setor sucroalcooleiro**. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, AC, 2008.

MORAES, M. de. **Prêmio de exportação de soja brasileira**. Piracicaba, 2002. 90p. Dissertação – ESALQ, USP.

MORAES, M. A. F. D., de. **Cadeia produtiva da cana, em mercado desregulamentado**. Revista Visão Agrícola, n° 1, jan/jun, 2004.

MORI, J. S. e MORAES, M. A. F. D., de. **Características do mercado do álcool anidro e hidratado e suas implicações para o mercado de combustíveis**. XLV congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Londrina, PR, 2007.

NICOLA, D. S.; FREITAS, C. A.; PAZ, M. V. **Previsão dos preços do açúcar e análise da sua volatilidade no mercado futuro brasileiro (2003 a 2007): uma aplicação e modelos da família ARCH**. XLVI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Rio Branco, AC, 2008. Anais, Associação Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Brasília.

NUNES, C.; GOMES, C. **Aspectos concorrenciais do varejo de combustíveis no brasil**. XXXIII Encontro Nacional de Economia, Natal, RN, 2005. Anais, ANPEC, Brasília, DF.

OZAKI, V. A.; SHIROTA, R. **Causalidade na transmissão de preços de café entre o mercado interno e externo**. In: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 38. Rio de Janeiro, 2000. Anais. Brasília: SOBER, 2000.

PROCANA; Conheça o setor: dados e estatísticas – Ribeirão Preto, disp. em: <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/Conheca%20o%20Setor.asp>. Acessado em dezembro de 2009.

RASK, K. N. **Clean air renewable fuels: the market for fuel ethanol in the US from 1984 to 1993**. *Energy Economics*, V. 20, no. 1, p. 325-45, June, 1998.

SAMPAIO, Y.; Lima, R. C. **Uma análise de estabilidade e previsão do preço do açúcar**. In Sampaio, Y. (Org.) Açúcar amargo: crise e perspectivas da indústria sucro-alcooleira em Pernambuco. Recife: UFPE, 1999a.

SAMPAIO, Y. e LIMA, R. C. **Estimação da função de transferência para o preço do açúcar: uma aplicação do modelo ARMAX**. In: SAMPAIO, Y. (Org.) Açúcar amargo: crise e perspectivas da indústria sucroalcooleira em Pernambuco. Recife: UFPE, 1999b.

SILVA, R. da. **Setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo: mensurando impactos sócio-econômicos**. Trabalho apresentado no 1º Workshop do Observatório do Setor Sucroalcooleiro, FEA-RP, USP, Ribeirão Preto, 2008.

SILVA, C. M. S. e ALMEIDA, E. L. F., de. **Formação de um mercado internacional de etanol e suas interrelações com os mercados de petróleo e açúcar**. XI Congresso Brasileiro de Energia, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

SILVA Jr., L. H.; LIMA, R. C.; SAMPAIO, Y. **Inter-relações entre os preços do açúcar no mercado internacional e no mercado do Nordeste**. III Encontro de Economia Baiana, 2007.

SILVEIRA, A. M. **A relação entre os preços de açúcar nos mercados doméstico e internacional**. Piracicaba, 2004. 74 p. Dissertação – ESALQ, USP.

SIMS, C. A. **Macroeconomics and reality**. *Econometrica*, Illinois, v.48, n.1, p.1-48, Jan. 1980.

SIMS, C. A. **Money, income and causality**. American Economic Review, v.62, n.2, p.540-552, 1972.

SORDI, J. C. **Os efeitos dos custos de transporte na liberação dos preços: o caso do álcool hidratado no Brasil**. Maringá, 1997. 159p. Dissertação – UEM.

SOUZA, R. R., de. **Panorama, oportunidades e desafios para o mercado mundial de álcool automotivo**. Rio de Janeiro, 2006. 129 p. Dissertação – UFRJ.

STRAZICICH, M. C.; LEE, J.; DAY, E. **Are incomes converging among OECD countries? Time series evidence with two structural breaks**. Journal of Macroeconomics, n. 26, p. 131–145, 2004.

USDA, World production supply and distribution data. Disponível em <http://www.fas.usda.gov/htp/sugar/sugar.html>. Acessado em novembro de 2005

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 7ª edição, 3ª tiragem, Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2003.

VIAN, C. E. F. **Agroindústria Canavieira: estratégias competitivas e modernização**. Campinas, SP, Editora Átomo, 2003.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. The MIT Press, Massachusetts, 2002