**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Formação do preço de etanol hidratado no Estado de São Paulo e
sua relação com os mercados de açúcar e de gasolina**

Daiane Diehl

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2012**

Daiane Diehl
Bacharel em Ciências Econômicas

**Formação do preço de etanol hidratado no Estado de São Paulo e sua relação
com os mercados de açúcar e de gasolina**

Orientadora:
Profa. Dra. **MIRIAN RUMENOS PIEDADE BACCHI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Diehl, Daiane

Formação do preço de etanol hidratado no Estado de São Paulo e sua relação com os mercados de açúcar e de gasolina / Daiane Diehl.- - Piracicaba, 2012.
141 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Açúcar 2. Etanol 3. Gasolina 4. Preços I. Título

CDD 338.4766182
D559f

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

*À minha família e, em especial,
aos meus pais, Everaldo e Lurdes.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e pela saúde para seguir a minha jornada.

À Profa. Mirian Bacchi, pela imensa paciência e generosidade em compartilhar sua sabedoria com tanto empenho e carinho.

À Maielli, por toda a atenção e pronta disponibilidade a ajudar, em qualquer situação.

Agradeço às Profas. Márcia Azanha, Marta Marjotta-Maistro e Lilian Maluf pelas preciosas sugestões.

Aos amigos da pós, pela amizade e companheirismo compartilhados, em especial à Daniela Vendemiatti, Daniel Capitani, Marina Andriolli, Cláudia Brito, Andréia Adami, Pedro Sarmiento, Carolina Yuri, Leonardo Zilio e Luiz Satolo.

Ao Vanclei, pela disponibilidade para me ajudar com os procedimentos econométricos no *software* de modelagem.

À amiga Luciana, companheira de pós-graduação, compartilhando as angústias, os medos e as alegrias da conquista, agradeço pela bela amizade. Às amigas Gisele e Ariane, pelo apoio, carinho e amizade.

A toda a minha família, que sempre me apoiou no meu caminho

Meus agradecimentos ao meu doce e eterno namorado, Oedis Mazzi, cujo abraço caloroso nos inúmeros momentos de cansaço revigorava minhas forças.

Agradeço ao CNPq, pelo apoio financeiro no início do meu curso.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigada!

EPÍGRAFE

“Não importa se a estação do ano muda...
Se o século vira, se o milênio é outro.
Se a idade aumenta...
Conserva a vontade de viver,
Não se chega a parte alguma sem ela.”

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 O problema e sua importância	23
1.2 Objetivos	26
1.3 Estrutura do trabalho	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 O setor canavieiro	29
2.2 O sistema agroindustrial da cana-de-açúcar	34
2.3 O mercado de etanol no Brasil e no mundo	42
2.3.1 Tecnologias de produção	42
2.3.2 O mercado internacional de etanol.....	46
2.3.3 O etanol no Brasil.....	48
2.3.4 Relações de preços envolvendo o mercado de etanol.....	54
2.3.4.1 Relação entre açúcar e etanol.....	54
2.3.4.2 Relação entre etanol hidratado e gasolina	56
2.3.4.3 Relação entre etanol anidro e hidratado.....	57
2.4 Trabalhos de referência.....	58
3 METODOLOGIA.....	63
3.1 Abordagem econométrica	63
3.1.1 Teste de raiz unitária	64
3.1.2 Auto-Regressão vetorial - VAR	65
3.1.3 Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro - VEC.....	67
3.1.4 Função de respostas a impulso.....	68
3.1.5 Decomposição da variância do erro de previsão.....	71
3.1.6 Decomposição histórica do erro de previsão (DHEP)	74
3.2 Modelo proposto.....	75
3.3 Fontes dos dados.....	78

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1 Teste de estacionaridade.....	81
4.2 Teste de cointegração	82
4.3 Resultados do ajustamento do modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro – VEC.....	82
4.3.1 Inclusão de termos deterministas	82
4.3.2 Relações contemporâneas	84
4.3.3 Elasticidades acumuladas e funções de respostas a impulso	88
4.3.4 Decomposição da variância do erro de previsão	96
4.3.5 Decomposição histórica do erro de previsão (DHEP) do preço do etanol hidratado ao varejo	102
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICES	119
ANEXOS.....	133

RESUMO

Formação de preço de etanol hidratado no Estado de São Paulo e sua relação com os mercados de açúcar e de gasolina

O principal objetivo deste estudo foi estimar um modelo analítico que explicasse a relação entre os mercados de etanol hidratado e de gasolina C, incluindo, também, efeitos de outros fatores, como o preço de açúcar nos mercados doméstico e internacional e a renda. Por sua capacidade de captar efeitos dinâmicos, utilizou-se o Modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro – VEC. A análise das funções de demanda dos combustíveis mostrou que o consumo de etanol responde de forma expressiva a variações contemporâneas no próprio preço e no preço da gasolina, produto substituto nesse segmento de mercado. Já com relação à demanda de gasolina C, verifica-se que suas vendas respondem menos tanto ao próprio preço como ao do etanol. De maneira geral, a análise das funções de respostas a impulsos permite verificar que os efeitos dos choques não antecipados sobre as variáveis do modelo são de curta duração, desaparecendo, na maior parte das vezes, após o terceiro mês. A renda mostrou-se importante variável explicativa tanto para o consumo de etanol hidratado quanto de gasolina C. Um choque exógeno no preço internacional de açúcar resulta em um efeito elevado no preço do produto no mercado doméstico. De outro lado, um choque no preço doméstico de açúcar tem impacto significativo no preço do etanol anidro (elasticidade acumulada de 0,57), sendo que esses produtos concorrem pela mesma matéria-prima na indústria. Como este preço, por sua vez, representa uma variável *proxy* para o preço do etanol hidratado no segmento produtor, pode-se afirmar que 60% das variações de preço neste segmento são transmitidas ao preço do combustível no mercado varejista. A análise da decomposição das variâncias do erro de previsão evidenciou que a variável que tem maior impacto sobre o preço do etanol hidratado combustível no varejo é o preço do etanol anidro (*proxy* do preço do etanol hidratado no segmento produtor). Os principais determinantes da venda de etanol hidratado no varejo são a renda, o preço do etanol hidratado combustível no varejo e o do etanol anidro no segmento produtor. Já com relação às vendas de gasolina C no varejo, o principal determinante é a renda, enquanto as demais variáveis pouco contribuem para explicar suas variações. Finalmente, a análise da previsão dentro da amostra para o preço do etanol hidratado no segmento varejista sugere que este preço assumiria um patamar mais elevado, não fosse a atual política de controle de preços dos derivados do petróleo adotada no Brasil. Nas duas últimas safras do período estudado, o preço praticado está, em média, 23,7% abaixo do previsto pelo modelo estimado neste estudo. Vale ressaltar que o modelo estimado capta o padrão médio do comportamento da série, dados os fundamentos de mercado considerados, os quais explicam pelo menos 76% das variações do preço do etanol hidratado no varejo.

Palavras-chave: Preço de etanol hidratado; Gasolina; Açúcar; Decomposição histórica

ABSTRACT

Price formation of hydrated ethanol in the State of São Paulo and its relationship with sugar and gasoline markets

The main objective of this study was to estimate an analytical model to explain the relationship between the markets of hydrated ethanol fuel and gasoline C, including effects of other factors such as sugar prices in the domestic and the International markets and income. Because of its ability to capture dynamic effects, the Auto-regression Model with Vector Error Correction – VEC was used. Analysis of the demand function showed ethanol fuel consumption significantly responds to contemporary variations of its price and gasoline price, replacement product in this market segment. Regarding the demand for gasoline C, it appears that sales respond less to its price and ethanol price. In general, analysis of the response functions to impulses allows to verify that the effect of unanticipated shocks on model variables are of short duration and disappears, in most cases, after three months. Income proved to be important in ethanol and gasoline C consumption. An exogenous shock in the international sugar price results in a large effect on the product price in the domestic market. Therefore, a shock in the domestic sugar price has a significant impact on the anhydrous ethanol price (accumulated elasticity of 0.57), once these products compete for raw material in the sector. Given that this price represents a proxy variable for the hydrous ethanol price for the industry, 60% of the price in this segment is transmitted to the fuel price in the retail market. A decomposition analysis of forecast error variance showed that the variable with greater impact on the hydrated ethanol fuel price in the retail market is the anhydrous ethanol price (proxy of the hydrated ethanol price in the industry). The main determinants of hydrated ethanol sales in the retail market are the income, the hydrated ethanol fuel price and the anhydrous ethanol fuel price in the industry. Gasoline C sales in the retail market are mostly determined by income, while the other variables contribute little to explain its variations. Finally, the analysis of the in-sample forecast for the hydrated ethanol price in the retail market suggests that this price would assume a higher level, if there were not the current policy of controlling prices of petroleum derivatives adopted in Brazil. In the last two seasons of the analysis, the price was on average 23.7% below that predicted by the model estimated in this study. It is noteworthy that the estimated model captures the average standard of the series, given the market fundamentals considered, which explain at least 76% of the variations in the hydrated ethanol price in the retail market.

Keywords: Hydrous ethanol price; Gasoline; Sugar; Historical decomposition

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar nos principais países produtores e no mundo, 1990 – 2010.....	30
Figura 2 – Participação das culturas no valor da produção, lavouras temporárias e permanentes, em 2010.....	31
Figura 3 – Concentração das plantações de cana-de-açúcar no Brasil	32
Figura 4 – Concentração das plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo	32
Figura 5 – Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar, 1990/91 – 2011/12	34
Figura 6 – Cadeia sucroenergética	36
Figura 7 – Modelo industrial tradicional de uma usina	39
Figura 8 – Fluxograma simplificado do processamento industrial da cana-de-açúcar	40
Figura 9 – Evolução da produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Estado de São Paulo, 1990/91 – 2011/12	41
Figura 10 – Rotas tecnológicas para produção de etanol	43
Figura 11 – Produtividade média de etanol por área para diferentes culturas	44
Figura 12 - Fluxograma simplificado do processo de produção de etanol a partir de biomassa	45
Figura 13 – Principais países produtores de etanol, 2010	46
Figura 14 – Evolução da produção mundial de etanol, de 2007 a 2010.....	47
Figura 15 – Evolução das exportações brasileiras de etanol, 2000 – 2010	48
Figura 16 – Matriz energética brasileira, 1970-2010	49
Figura 17 – Perfil energético do setor de transporte rodoviário no Brasil em 2010 ...	50
Figura 18 – Vendas internas de automóveis e comerciais leves, por tipo de combustível	53
Figura 19 – Evolução das vendas de etanol hidratado e gasolina C no varejo - Estado de São Paulo, 2001 a 2011	54
Figura 20 – Índice de preços reais de etanol hidratado ao produtor, de açúcar ao produtor no mercado doméstico e de açúcar no mercado internacional, maio de 2001 a março de 2011.....	55

Figura 21 – Evolução dos preços reais de etanol hidratado e de gasolina C no varejo para o Estado de São Paulo, e índice de preços do petróleo no mercado internacional, maio de 2001 a março de 2011	57
Figura 22 – Índice de preços reais de etanol hidratado e anidro ao produtor e de etanol hidratado no varejo, para o Estado de São Paulo, janeiro de 2002 a março de 2011	58
Figura 23 – Vendas de veículos e comerciais leves no mercado interno	83
Figura 24 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na venda de etanol hidratado combustível no varejo	90
Figura 25 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do etanol hidratado no varejo	91
Figura 26 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na venda de gasolina C no varejo	92
Figura 27 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço da gasolina C no varejo.....	93
Figura 28 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do etanol anidro ao produtor	94
Figura 29 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do açúcar ao produtor	95
Figura 30 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na renda	96
Figura 31 – Decomposição da variância dos erros de previsão das vendas de etanol hidratado no varejo – <i>qehv</i>	97
Figura 32 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do etanol hidratado no varejo – <i>pehv</i>	98
Figura 33 – Decomposição da variância dos erros de previsão das vendas de gasolina C no varejo – <i>qgcv</i>	98
Figura 34 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço da gasolina C no varejo – <i>pgcv</i>	99
Figura 35 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do etanol anidro ao produtor – <i>peap</i>	99
Figura 36 – Decomposição da variância dos erros de previsão da comercialização de açúcar – <i>qacd</i>	100

Figura 37 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do açúcar no mercado doméstico – <i>pacd</i>	100
Figura 38 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do açúcar no mercado internacional – <i>paci</i>	101
Figura 39 – Decomposição da variância dos erros de previsão da renda interna – <i>y</i>	101
Figura 40 – Decomposição histórica do erro de previsão	103
Figura 41 – Distribuição acumulada dos erros de previsão do modelo de especificação do preço do etanol hidratado no varejo	104
Figura 42 – Série de preços do etanol hidratado no varejo e suas previsões baseadas no conjunto de variáveis explicativas do modelo	105
Figura 43 – Evolução dos preços nominais médios ao consumidor do etanol hidratado e da gasolina C no Estado de São Paulo, jul/2001 – mar/2011	106
Figura 44 – Evolução da relação entre os preços nominais médios ao consumidor do etanol hidratado e da gasolina C no Estado de São Paulo, jul/2001 – mar/2011	107
Figura 45 – Séries utilizadas na análise: <i>pehv</i> – preço do etanol hidratado no varejo	121
Figura 46 – Série utilizada na análise: <i>peap</i> – preço do etanol anidro ao produtor.	121
Figura 47 – Série utilizada na análise: <i>pgcv</i> – preço da gasolina C no varejo	122
Figura 48 – Série utilizada na análise: <i>pacd</i> – preço do açúcar no mercado doméstico	122
Figura 49 – Série utilizada na análise: <i>paci</i> – preço do açúcar no mercado internacional	123
Figura 50 – Série utilizada na análise: <i>qehv</i> – vendas de etanol hidratado no varejo	123
Figura 51 – Série utilizada na análise: <i>qgcv</i> – vendas de gasolina C no varejo	124
Figura 52 – Série utilizada na análise: <i>qacd</i> – comercialização de açúcar no mercado interno paulista	124
Figura 53 – Série utilizada na análise: <i>y</i> – renda interna.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso da terra no Brasil e possibilidades de expansão	33
Tabela 2 – Panorama geral do setor sucroenergético brasileiro – safra 2010/11	35
Tabela 3 – Subprodutos do setor sucroenergético.....	37
Tabela 4 – Comparação do etanol produzido a partir de grãos com o etanol de cana-de-açúcar	42
Tabela 5 – Oportunidades e ameaças ao avanço do etanol brasileiro (Continua)	50
Tabela 6 – Matriz de relações contemporâneas do modelo especificado	78
Tabela 7 – Resultados dos testes de raiz unitária (DF-GLS)	81
Tabela 8 – Resultados dos testes de cointegração de Johansen	82
Tabela 9 – Elasticidades acumuladas nos três primeiros meses após o choque.....	88
Tabela 10 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>qehv</i> – vendas de etanol hidratado no varejo.....	126
Tabela 11 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>pehv</i> – vendas de etanol hidratado no varejo.....	126
Tabela 12 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>qgcvc</i> – vendas de gasolina C no varejo.....	127
Tabela 13 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>pgcvc</i> – preço de gasolina C no varejo.....	127
Tabela 14 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>peap</i> – preço de etanol anidro ao produtor	128
Tabela 15 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>qacd</i> – comercialização de açúcar no mercado doméstico	128
Tabela 16 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>pacd</i> – preço de açúcar no mercado doméstico	129
Tabela 17 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>paci</i> – preço do açúcar no mercado internacional	129
Tabela 18 – Decomposição da variância do erro de previsão: <i>y</i> – renda interna	130
Tabela 19 – Decomposição histórica dos erros de previsão	131

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BACEN – Banco Central do Brasil

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CATS – *Cointegration Analysis of Time Series*

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

DF-GLS – *Dickey-Fuller Generalized Least Square*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA – *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAO – *Food and Agriculture Organization*

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GEE – Gases de Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGP-DI – Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAIC – *Modified Akaike's Information Criterion*

NYBOT – *New York Board of Trade*

RATS – *Regression Analysis of Time Series*

RFA – *Renewable Fuels Association*

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar

VAR – *Vector autorregression* (Vetor Auto-Regressivo)

VEC – *Vector Error Correction* (Modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro)

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema e sua importância

Um dos maiores desafios das sociedades modernas é, sem dúvida, a segurança energética. Garantir o suprimento de energia, principalmente para os países em desenvolvimento, é uma das condições essenciais para se assegurar um crescimento vigoroso e sustentado de sua economia.

De acordo com Bressan Filho (2011), a produção de energia primária visa o suprimento de geração de calor, de eletricidade e produção de combustíveis líquidos para transporte. Essas demandas podem ser atendidas por produtos de origem fóssil (petróleo, carvão mineral e gás natural) e de origem não fóssil (nuclear, biomassa, hidráulica, eólica e solar). Segundo o autor, atualmente, 87% do consumo mundial de energia é baseado em fontes fósseis, sendo o petróleo a fonte mais representativa (37,2%), seguido do carvão mineral (27,6%) e do gás natural (22,2%). Dentre as fontes não fósseis, 6,9% do consumo é suprido pela geração termonuclear, 3,2% pela biomassa, 2,3% pela hidroeletricidade e 0,6% pelas demais fontes.

A partir do século XVIII, a exaustão das reservas de lenha disponíveis em boa parte da Europa Ocidental e, principalmente, na Inglaterra, determinaram o início da exploração do carvão mineral e, juntamente com a máquina a vapor, tornou-se um dos fatos desencadeadores da Revolução Industrial. A introdução dessa fonte fóssil de energia, disponível em quantidade abundante e com acesso relativamente fácil na época, foi essencial para que o mundo trilhasse rumo à industrialização (BNDES e CGEE, 2008). Hoje, no entanto, a grande dependência das sociedades humanas às fontes fósseis de energia tem trazido grandes preocupações com as questões econômicas, estratégicas e ambientais associadas a seu uso. Como consequência, existe atualmente em escala mundial um grande esforço na busca de fontes alternativas que permitam realizar, a longo prazo e com limitados impactos econômicos, a transição da era dos combustíveis fósseis para uma nova era de fontes de energia mais limpas, seguras e renováveis (BRESSAN FILHO, 2011).

Nesse contexto, o Brasil destaca-se por possuir a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com mais de 45% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e

solar (BRASIL, 2011). Entre 2000 e 2010, enquanto a participação do petróleo e derivados na matriz energética brasileira diminuiu de 45,5% para 37,6%, a participação dos derivados da cana-de-açúcar aumentou de 10,9% para 17,8% de toda a energia consumida no país. Essa fonte de energia tornou-se a segunda mais importante da matriz energética em 2007, quando ultrapassou a energia hidráulica, cuja participação foi de 14% em 2010 (EPE, 2012).

O sucesso brasileiro no uso de fontes de energia renováveis, com destaque para o uso do álcool etílico ou etanol¹ como combustível em veículos automotores, tem despertado grande interesse mundial, principalmente pelo potencial de redução na emissão de gases de efeito estufa (GEE). De acordo com Meira Filho e Macedo (2009), no caso do etanol da cana-de-açúcar, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) são 89% menores quando comparadas às da gasolina, considerando o ciclo completo desde a produção/extração até a utilização do combustível. A Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA) dos Estados Unidos também reconhece as vantagens ambientais do uso do etanol de cana-de-açúcar, qualificando-o, em 2010, como "combustível avançado", capaz de reduzir a emissão de CO₂ em 61% em relação ao uso de gasolina.

No caso brasileiro, a importância da produção de biocombustíveis e, em particular, de etanol, vem se ampliando significativamente ao longo das últimas décadas. Do Programa Nacional do Álcool aos investimentos mais recentes de expansão da produção para atender ao crescimento dos mercados doméstico e internacional do produto, o Brasil encontra-se em processo de consolidação de uma posição de liderança.

São muitos os fatores que garantiram o sucesso do modelo brasileiro de substituição da gasolina pelo uso do etanol combustível em período recente. O principal deles, certamente, é o advento dos veículos *flex-fuel* em 2003, que criou um mercado consumidor extraordinário para o combustível renovável. Estes veículos, projetados para serem abastecidos com gasolina ou etanol (ou, ainda,

¹ A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível – ANP, em sua Resolução nº 9, de 1º de abril de 2009, considera que as expressões “álcool etílico combustível” e “etanol combustível” são tecnicamente sinônimas e autoriza os revendedores varejistas a utilizar a nomenclatura “Etanol” para indicar o produto “Álcool Etílico Hidratado Combustível” ou “Etanol Hidratado Combustível” nas bombas abastecedoras de veículos. Esta medida surgiu da necessidade de uniformização das nomenclaturas internacionalmente utilizadas para designar os biocombustíveis, considerando o interesse do país em promover os biocombustíveis brasileiros no mercado internacional. A Resolução ANP nº 9 está apresentada no ANEXO A.

qualquer mistura de ambos os combustíveis), representaram, em 2011, 83,1% do total de automóveis e comerciais leves licenciados no Brasil (ANFAVEA, 2012). Como resultado, as vendas de etanol hidratado cresceram 16,1% a.a. desde 2003, passando de 3,2 milhões de m³ naquele ano para mais de 10,7 milhões de m³ em 2011, e atingindo 16,5 milhões de m³ em 2009. No Estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, as vendas de etanol combustível ultrapassaram o volume comercializado de gasolina em maio de 2008, permanecendo como o principal combustível utilizado até dezembro de 2009 e, novamente, no período de abril de 2010 a janeiro de 2011. Essa preferência dos consumidores é dada, essencialmente, pela relação de preços dos combustíveis, já que os veículos *flex-fuel* possibilitaram ao consumidor um poder de escolha no momento de abastecer. Devido à diferença de rendimento energético dos dois combustíveis, em geral, o etanol é adotado quando seu preço representa até aproximadamente 70% do preço da gasolina.

Apesar da grande expansão do mercado de etanol e do seu enorme potencial de crescimento, nos últimos anos o setor sucroenergético vem enfrentando uma crise, com dificuldades para abastecer inclusive o mercado doméstico. De acordo com Pires (2011), a crise econômica mundial de 2008 e a consequente falta de crédito em 2009 forçaram as empresas a escoarem grandes volumes de etanol, a baixos preços, para se capitalizarem. Por um lado, o consumo do biocombustível aumentou significativamente e, por outro, o volume de investimentos em novas unidades produtoras, que era crescente, começou a se reduzir. A falta de crédito prejudicou também a renovação do canavial que, juntamente com problemas climáticos nas duas últimas safras, contribuiu para a redução da produtividade da lavoura.

A disparidade entre oferta e demanda de etanol vem gerando distorções no mercado e, a cada ano, os preços se posicionam em um patamar diferente. De acordo com Campos (2010), a necessidade de se reduzir as flutuações no preço do etanol ganha relevância, uma vez que é preciso assegurar aos agentes do setor maior previsibilidade de preço, reduzindo, assim, os riscos do mercado.

Nesse cenário, este estudo tem como foco a análise dos fatores que influenciam as variações no preço do etanol combustível, considerando suas inter-relações com o mercado de combustíveis (como produto final) e com o mercado de açúcar (como concorrente pela matéria-prima). A análise, restrita ao Estado de São

Paulo, foi realizada considerando que o etanol hidratado é substituto da gasolina C no abastecimento de veículos *flex-fuel*. Já o etanol anidro é utilizado de forma complementar a gasolina A, que é a principal matéria-prima da gasolina C. Finalmente, a inclusão do mercado de açúcar na análise torna-se relevante por apresentar estreita relação com o mercado de etanol, uma vez que os dois produtos disputam o principal insumo produtivo na indústria.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste estudo é estimar um modelo analítico que explique a relação entre os mercados paulistas de etanol hidratado e de gasolina C. O modelo deve possibilitar a análise do processo de transmissão de preços desses combustíveis e gerar as suas elasticidades de oferta e de demanda. Também será avaliada a importância de outros fatores, como a renda e preço de açúcar nos mercados doméstico e internacional, na previsão de oscilações de preço do etanol no Estado de São Paulo, no período de maio de 2001 a março de 2011.

Estudos dessa natureza podem embasar o delineamento de políticas públicas e setoriais, permitindo antecipar variações de preços e/ou de volumes comercializados de combustíveis decorrentes de fatores que afetam a demanda e a oferta desses produtos e fundamentar a tomada de decisão sobre estratégias para realizar ajustes entre quantidades ofertada e demandada de etanol combustível no mercado interno.

A análise do processo de formação do preço de etanol combustível hidratado contempla:

- a) uma proposta, baseada em teoria econômica, para identificar o modelo na forma estrutural a partir da reduzida;
- b) a estimação desse modelo através do procedimento de análise de Auto-Regressão Vetorial, incluindo estimação das funções de respostas a impulsos, decomposição da variância dos erros de previsão e decomposição histórica dos erros de previsão dentro da amostra.

As propriedades de integração e cointegração das séries temporais são consideradas nas estimativas do modelo.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em 5 capítulos.

No capítulo 1 – Introdução, foram apresentados os objetivos deste trabalho e o contexto no qual a problemática analisada se insere.

O capítulo 2 traz uma revisão da literatura existente sobre o setor canavieiro no Brasil, o mercado de etanol no Brasil e no mundo, assim como as relações existentes entre os preços de etanol hidratado, etanol anidro, gasolina e açúcar.

A metodologia utilizada para se atingir os objetivos propostos, o modelo econométrico adotado e as fontes dos dados são apresentados no capítulo 3.

Os resultados obtidos através da estimação do referido modelo são apresentados e discutidos no capítulo 4.

O capítulo 5, finalmente, traz as considerações finais do presente estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O setor canavieiro

A importância da cultura da cana-de-açúcar na economia brasileira tem raízes quase tão antigas quanto a própria colonização do país. As primeiras mudas da planta chegaram ao Brasil por volta de 1515, vindas da Ilha da Madeira (Portugal), tendo sido o primeiro engenho de açúcar construído em 1532, na capitania de São Vicente. Mas foi no Nordeste, especialmente nas capitanias de Pernambuco e da Bahia, que os engenhos de açúcar se estabeleceram e se multiplicaram. No século seguinte, o Brasil já era o maior produtor e fornecedor mundial de açúcar, posição mantida até o fim do século XVII. Historicamente, a cana-de-açúcar sempre foi um dos principais produtos agrícolas do Brasil e, hoje, o País tem a primeira posição no *ranking* mundial da cultura (GUIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2009).

O Brasil é atualmente responsável por cerca de 37,0% da produção mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia (16,5%), China (6,6%) e Tailândia (4,1%). Na Figura 1, observa-se a evolução da produção canavieira desses países e do mundo, de 1990 até 2010 (FAO e CONAB, 2012). O Brasil também se destaca entre os principais produtores pelo significativo aumento de 180,5% na produção no período analisado (em média, 5,3% ao ano). No mesmo período, a área colhida aumentou 98,6% (em média, 3,2% ao ano), o que evidencia o ganho de produtividade alcançado com o desenvolvimento de tecnologias agrícolas de produção, que buscam aprimorar o cultivo da planta, tornando-a mais produtiva e resistente a pragas, doenças e condições climáticas adversas. De acordo com Vieira et al. (2011), a utilização de variedades melhoradas é um dos principais fatores que explicam o aumento da produtividade da cultura da cana-de-açúcar no Brasil, a qual passou de uma produção média de 65 t/ha na década de 1970 para 85 t/ha atualmente, mesmo com a expansão do cultivo em ambientes cada vez mais restritivos.

Figura 1 – Evolução da produção de cana-de-açúcar nos principais países produtores e no mundo, 1990 – 2010

Fonte: FAO (2012) e Conab (2012).

Apesar do recente cenário de crise de investimento e problemas climáticos, que resultou em queda de produção para a safra 2011/12 e elevados patamares de preços de açúcar e etanol, a atividade canavieira no Brasil vive uma das melhores fases de sua longa história. O potencial de produção e o papel fundamental da cana-de-açúcar e de seus subprodutos – açúcar, etanol e energia elétrica, entre outros –, tanto na agricultura como na indústria, fazem dessa cultura uma das mais importantes atividades da agroindústria nacional. De acordo com os dados do IBGE (2011), a cana-de-açúcar é a segunda cultura em valor de produção, com uma produção estimada em R\$ 28,3 milhões, atrás apenas da cultura da soja, cujo valor de produção atinge R\$ 37,4 milhões. A Figura 2 mostra a participação das principais culturas brasileiras no valor da produção de lavouras temporárias e permanentes em 2010.

Figura 2 – Participação das culturas no valor da produção, lavouras temporárias e permanentes, em 2010

Fonte: IBGE (2011).

A cultura canavieira no Brasil ocupa uma área de 8,4 milhões de ha (CONAB, 2012) e se concentra principalmente nas regiões Centro-Sul e Nordeste, como mostra a Figura 3 (as áreas com maiores concentrações da cultura estão marcadas em vermelho). O fato de haver cultivo nessas duas regiões torna possível a ocorrência de duas safras no ano. Enquanto no Centro-Sul do Brasil a época de colheita se dá entre final de março e início de dezembro, na região nordestina a safra se estende de agosto a abril (MARQUES, 2009). Em São Paulo, maior Estado produtor, as plantações se estendem pelas regiões central, norte e oeste (Figura 4).

Figura 3 – Concentração das plantações de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Elaborado pela autora a partir de IBGE (2011).

Figura 4 – Concentração das plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

Fonte: Elaborado pela autora a partir de IBGE (2011).

A área com cana-de-açúcar representa 2,5% da área agriculturável do País. Como se pode observar na Tabela 1, este índice de ocupação é inferior ao de culturas como a soja e o milho e o da atividade pecuária.

Tabela 1 – Uso da terra no Brasil e possibilidades de expansão

		Milhões de ha	% da área agriculturável
Brasil		850	
Área de preservação e outros usos	60%	510	
Área agriculturável	40%	340	
Área total ocupada com agricultura		72	21,2%
Soja		21,3	6,3%
Milho		14,6	4,3%
Cana-de-açúcar		8,4	2,5%
Laranja		0,9	0,3%
Área total ocupada com pastagens		172	50,6%
Área disponível para a expansão da agropecuária		96	28,2%

Fonte: Adaptado de Neves et. al. (2011).

De acordo com os dados da Conab (2012), na safra brasileira de 2011/12, foram produzidas 571,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A Figura 5 traz a evolução da produção canavieira no Brasil, nas suas grandes regiões produtoras e no Estado de São Paulo, no período de 1990/91 até 2011/12. Em linhas gerais, observa-se uma clara tendência de crescimento, com aumento de 156,9% na produção canavieira nacional (ou 4,8% a.a.). Exceções a essa tendência ocorreram nas safras 2000/01 e 2011/12, com quedas de produção da ordem de 16% e 8,4%, respectivamente, decorrentes principalmente de problemas climáticos como estiagem prolongada na Região Centro-Sul.

Figura 5 – Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar, 1990/91 – 2011/12

Fonte: Unica (2011) e Conab (2012).

A Figura 5 também mostra o grau de concentração da produção canavieira no Brasil. A produção de cana dividida por região do País revela que o Norte-Nordeste representa 12,3% da produção nacional, enquanto o Centro-Sul representa 87,7%, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor, com 53,9% de participação na safra 2011/12.

2.2 O sistema agroindustrial da cana-de-açúcar

Importante geradora de emprego e renda, a lavoura brasileira de cana-de-açúcar é hoje a base de um dos casos mais eficientes de agronegócio no mundo. A Tabela 2 sumariza a relevância do setor sucroenergético para a economia brasileira na safra 2010/11. Considerando-se as produções de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade, estima-se que o setor movimente R\$ 60 bilhões e recolha o equivalente a US\$ 15 bilhões em impostos e taxas. As exportações do setor somaram US\$ 13,5 bilhões, sendo US\$ 12,5 bilhões com a exportação de açúcar e US\$ 1 bilhão com a exportação de etanol. Com relação à geração de empregos, estima-se que 4,5 milhões de pessoas estejam empregadas no setor (ANUÁRIO DA CANA, 2011). Embora grande parte dos trabalhadores no cultivo da cana seja

analfabeta ou com baixa escolaridade, o aumento da mecanização tem se encarregado de aumentar a demanda por profissionais mais qualificados (Neves et al., 2009).

Tabela 2 – Panorama geral do setor sucroenergético brasileiro – safra 2010/11

Valor da produção de cana, açúcar, etanol e bioeletricidade	R\$ 60 bilhões
Representatividade no PIB nacional	1,6%
Representatividade na Matriz Energética	17,8%
Empregos gerados	4,5 milhões de empregos diretos e indiretos
Fornecedores de cana-de-açúcar	72.000
Área cultivada	8,1 de hectares (2,4% da área agriculturável)
Produção de cana-de-açúcar	623,9 milhões de toneladas de cana
Produção de açúcar	38,7 milhões de toneladas / 46,2% da cana processada
Produção de etanol	27,7 milhões de m ³ / 53,8% da cana processada
Exportações totais	US\$ 13,5 bilhões
Exportação de açúcar	28 milhões de toneladas / US\$ 12,5 bilhões
Exportação de etanol	2 milhões de m ³ / US\$ 1 bilhão
Recolhimento de impostos e taxas	R\$ 15 bilhões
Usinas e destilarias instaladas	435 (mais cerca de 20 projetos em andamento)

Fonte: Anuário da Cana (2011); EPE (2012); Conab (2012); Neves et al. (2011).

A Figura 6 representa o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar, com os fluxos entre os principais elos da cadeia. Para análise do subsistema produtor de etanol, foco do presente estudo, é fundamental a compreensão das suas inter-relações com o subsistema de açúcar.

Figura 6 – Cadeia sucroenergética

Fonte: Neves et al. (2010).

Os principais produtos da agroindústria canavieira no Brasil são o açúcar, que atende o mercado de alimentos, o etanol anidro, usado como combustível adicionado à gasolina, e o etanol hidratado, que atende à parcela de carros movidos exclusivamente à etanol ou os veículos *flex-fuel* (Seabra, 2008). Dada a composição da cana-de-açúcar, são vários os subprodutos resultantes do processo industrial e suas aplicações são muito diversificadas, desde a geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço até a fabricação de ração animal e fertilizante para as lavouras (Tabela 3). Além desses subprodutos tradicionais, há uma lista numerosa e variada de novos produtos, que inclui realçadores de sabor para a indústria de alimentos, plástico para embalagens, entre outros.

Tabela 3 – Subprodutos do setor sucroenergético

(Continua)

Sub-produto	Descrição	Produção	Principais aplicações
Bagaço	Resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas. Apresenta, em média, 46% de fibra e 50% de umidade.	240 a 280 kg/t cana processada, dependendo do teor de fibra da cana.	Combustível para caldeira, produção de celulose e na alimentação de gado confinado.
Torta de filtro	Resíduo da filtração mecânica do lodo na fabricação do açúcar e também na do álcool direto, quando o caldo é submetido ao tratamento de clarificação. Apresenta, em média, 75% de umidade.	20 a 40 kg/t de cana	Fertilizante, rica fonte de fósforo.
Melaço (ou mel final)	Principal subproduto da indústria do açúcar, apresenta elevado teor de açúcares totais	40 a 60 kg/t de cana processada	Principalmente na fabricação de etanol. É aproveitado, também, em outros processos biotecnológicos (produção de proteína, rações, levedura prensada para panificação, antibióticos, entre outros)
Vinhaça	Resíduo da destilação do vinho.	12 a 18 litros/litro de etanol, dependendo da natureza da matéria-prima processada.	Alimentação de animais, produção de proteínas (biomassa), produção de metano e fertilização de solos, sendo esta última a mais utilizada.
Óleo fúsel	Constituído de álcoois (álcool etílico e superiores), furfural, aldeídos, ácidos graxos etc.	0,05 a 0,2 litros/100 litros de álcool, dependendo da natureza e qualidade da matéria-prima, e da qualidade do álcool produzido.	É matéria-prima para processamento de refinação, de onde se extraem álcoois com diversos graus de pureza e para obtenção de outras substâncias químicas (solventes, por exemplo).

Tabela 3 – Subprodutos do setor sucroenergético

(Continuação)

Sub-produto	Descrição	Produção	Principais aplicações
Álcool bruto	Constituído por uma mistura impura de água e álcool.	1 a 5 litros/100 litros de etanol, dependendo da matéria-prima, da qualidade do etanol a ser produzido e das condições operacionais do aparelho de destilação.	Produção de álcoois extra-fino e neutro, sendo também empregado como combustível.
Levedura seca	Obtida da secagem de uma parte do leite de levedura sangrado no processo de condução da fermentação, possui em sua composição 35% de proteína e alto teor de vitaminas do complexo B.	2,5 kg/100 litros de etanol	Especialmente na composição de rações animais.

Fonte: Adaptado pela autora, a partir de Embrapa (2009).

De acordo com o Anuário da Cana (2011), há ao todo 435 unidades processadoras de cana-de-açúcar no Brasil e mais cerca de 20 projetos em andamento. As usinas brasileiras são divididas em três categorias, segundo o tipo de instalação: as usinas de açúcar (que produzem exclusivamente açúcar), as usinas de açúcar com destilarias anexas (que produzem açúcar e etanol), e as destilarias autônomas (que produzem exclusivamente etanol). De acordo com Seabra (2008), a grande maioria das instalações são usinas de açúcar com destilarias anexas (~60% do total), seguida por um considerável montante de destilarias autônomas (~35%) e algumas unidades de processamento exclusivo de açúcar.

O tipo das instalações pode ser relacionado com a região geográfica. Conforme salienta Marques (2009), nas áreas tradicionais de produção de cana do Centro-Sul, há forte presença das usinas com destilaria anexa e das destilarias autônomas. Nesta região, a configuração das unidades industriais possibilita a cogeração de energia para consumo próprio e venda do excedente produzido. Já nas áreas de expansão do Centro-Sul, que abrange o Mato Grosso do Sul, Minas Gerais (Triângulo Mineiro), Goiás e o oeste paulista, há produção majoritária de etanol, além de excedente de energia elétrica. Finalmente, no Nordeste do Brasil, a produção é voltada basicamente para o açúcar, visto as condições logísticas favoráveis à exportação.

A Figura 7 ilustra a configuração tradicional de uma usina de processamento de cana-de-açúcar, com unidades de produção de açúcar e de etanol, além da unidade de geração de vapor e de energia a partir da queima do bagaço.

Figura 7 – Modelo industrial tradicional de uma usina

Fonte: PECEGE (2011).

O processamento industrial nas usinas inicia-se com a recepção de cana, quando se define a quantidade e qualidade da matéria-prima. O caldo extraído pode ser direcionado para a produção de açúcar ou de etanol, como mostra a Figura 8. Na etapa de fabricação de açúcar, além do açúcar propriamente dito, há como resultado a produção de mel residual, um subproduto rico em concentração de açúcares que não foram recuperados na forma de cristais de açúcar. Nas configurações industriais brasileiras típicas, produtoras de açúcar e etanol, o mel residual é uma segunda fonte de matéria-prima do processo de fabricação de etanol (MARQUES, 2009).

Figura 8 – Fluxograma simplificado do processamento industrial da cana-de-açúcar
Fonte: Marques (2009).

De acordo com Alves (2002), uma das mais importantes características da indústria sucroenergética é a flexibilidade de sua produção. As usinas que possuem destilarias anexas podem direcionar o caldo da cana oriundo da moagem para produção de açúcar ou de etanol. Segundo Marjotta-Maistro (2002), essa flexibilidade na composição do *mix* de produção é um instrumento que possibilita aos produtores redirecionarem sua produção frente aos sinais de mercado, isto é, frente aos possíveis ganhos com a produção de açúcar ou de etanol. No entanto, se por um lado o mercado pode direcionar as decisões empresariais, por outro, as decisões não devem ser desvinculadas de um planejamento de longo prazo.

A decisão de produzir açúcar, etanol anidro e hidratado, que na época do Instituto do Açúcar e Alcool era estabelecida pelos Planos de Safra do Governo Federal, é atualmente uma decisão do setor privado. Segundo Moraes (2002), de forma geral, considera-se como variáveis de decisão os preços relativos dos produtos. Contudo, essa flexibilidade é limitada pela capacidade instalada individual

de produção de cada um dos produtos. Dessa forma, a possibilidade de escolha entre açúcar e etanol torna a decisão sobre a oferta bastante complexa, pois envolve mercados distintos que interagem simultaneamente entre si. A autora ressalta que o mercado de etanol é ainda mais complexo que o de açúcar, pois além das suas ligações com o mercado de açúcar e da cana, seu funcionamento depende também do mercado de combustíveis.

Na safra 2011/12, 49,7% da cana produzida no Brasil foi destinada à produção de açúcar e 50,3% para a produção de etanol (CONAB, 2012). Para a safra 2012/13, estima-se um pequeno aumento da cana destinada à produção de açúcar (49,8%). Considerando apenas o Estado de São Paulo, o qual é responsável por 63,3% da produção brasileira de açúcar e por 56% da produção total de etanol, a produção de 308,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 11/12 gerou uma produção de 21,3 milhões de toneladas de açúcar e 11,7 milhões de m³ de etanol (Figura 9).

Figura 9 – Evolução da produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Estado de São Paulo, 1990/91 – 2011/12

Fonte: Unica e Conab (2012).

2.3 O mercado de etanol no Brasil e no mundo

2.3.1 Tecnologias de produção

O etanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amido ou açúcares (BNDES e CGEE, 2008). A Tabela 4 compara o etanol de cana-de-açúcar, produzido principalmente no Brasil, com o etanol de grãos, como é o caso do etanol de milho produzido nos Estados Unidos. O etanol de cana-de-açúcar apresenta um maior potencial de redução na emissão de gases de efeito estufa com baixo custo de produção e alto rendimento.

Tabela 4 – Comparação do etanol produzido a partir de grãos com o etanol de cana-de-açúcar

Matéria-prima	Redução na emissão de gases de efeito estufa	Custo de produção	Produção por hectare
Grãos (trigo, milho)	moderado a baixo	moderado	moderado
Cana-de-açúcar	alto	baixo	alto

Fonte: BNDES e CGEE (2008), adaptado de IEA (2005).

A Figura 10 apresenta as diferentes rotas para a produção do etanol. As tecnologias industriais para conversão de açúcares e amido em etanol podem ser consideradas maduras e disponíveis, com exceção para rota de hidrólise de materiais lignocelulósicos, em desenvolvimento. Caso esta rota se mostre viável técnica e economicamente, a produção de etanol de cana-de-açúcar pode aumentar significativamente sem aumento de área plantada, isto é, com um maior rendimento em litros por hectare (Figura 11), evitando o crescente debate sobre a competição entre combustíveis e alimentos pelo uso de terras agriculturáveis. Neste contexto, o uso de materiais lignocelulósicos para a produção do etanol surge como uma alternativa de destaque, já que permitiria a utilização de resíduos agrícolas, além de outras biomassas de baixo custo, para a produção do combustível. A Figura 11 mostra ainda a vantagem da cana-de-açúcar perante outras matérias-primas utilizadas no mundo para a produção de etanol. Em função das diferenças entre a produtividade agrícola e a produtividade industrial, os volumes de etanol produzido

por unidade de área cultivada variam bastante. No caso da cana-de-açúcar, consideram-se valores representativos uma produtividade agrícola de 80 toneladas de cana-de-açúcar por hectare e um rendimento industrial de 85 litros de etanol, o que resulta em uma produção de 6.800 litros de etanol por hectare cultivado. Quando considerada a produção de etanol dos resíduos celulósicos, tecnologia ainda em desenvolvimento no mundo, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar pode ultrapassar 9 mil litros por hectare. Esse resultado assume as premissas de utilização de 30% do bagaço disponível e 50% da palha, convertidos em etanol à razão de 400 litros por tonelada de biomassa celulósica seca.

Figura 10 – Rotas tecnológicas para produção de etanol

Fonte: BNDES e CGEE (2008).

Figura 11 – Produtividade média de etanol por área para diferentes culturas

Fonte: BNDES e CGEE (2008).

De acordo com Seabra (2008), o etanol vem sendo produzido comercialmente pela hidrólise e fermentação de materiais lignocelulósicos desde o final do século XIX, mas o alcance de custos necessários para entrar no mercado de combustíveis é uma proposta relativamente nova (últimos vinte anos). Os principais programas de pesquisa e desenvolvimento vêm sendo conduzidos nos EUA e Europa, mas seu sucesso poderia transformar este combustível em uma *commodity* capaz de ser produzida em quase todas as regiões do mundo. Uma configuração genérica e simplificada do processo enzimático é apresentada na Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma simplificado do processo de produção de etanol a partir de biomassa

Fonte: Baudel, 2006.

Para o Brasil, a possibilidade natural é a utilização dos resíduos da própria cana-de-açúcar para a produção de maiores volumes de etanol nas usinas. Apesar do baixo custo desta biomassa, que já representa uma vantagem quando comparada às opções dos países do hemisfério norte, o desenvolvimento ainda insatisfatório e a grande necessidade de capital ainda impõem uma grande barreira para a implementação da tecnologia. Grandes evoluções são esperadas para o futuro, com o desenvolvimento de processos integrados, apresentando menor número de reatores, tempos de residência e, conseqüentemente, menor necessidade de investimento. O grande problema hoje desta tecnologia é o alto custo das enzimas. No longo prazo, a produção da enzima poderá ser realizada no mesmo reator no qual ocorrem a hidrólise e a fermentação, o que poderá reduzir significativamente os custos (BAUDEL, 2006).

Apesar de atualmente não existir nenhuma planta comercial para a produção de etanol a partir de materiais lignocelulósicos, já foram desenvolvidas plantas piloto e de demonstração, e diversos projetos comerciais estão em desenvolvimento. A maioria das plantas está localizada nos EUA, mas Canadá, Brasil, Europa e Japão também são sedes de muitas iniciativas (SEABRA, 2008). A grande vantagem do Brasil consiste em se ter a biomassa barata e disponível no local de produção

(usinas). Além disso, a nova tecnologia utilizaria as próprias facilidades existentes na destilaria (fermentação e destilação), em um processo totalmente integrado com a produção convencional de etanol.

2.3.2 O mercado internacional de etanol

A produção mundial de etanol é bastante concentrada. Os principais países produtores de etanol são Estados Unidos e Brasil, que, juntos, respondem por cerca de 87% da produção global (Figura 13). O mercado americano de etanol foi o que mais cresceu nos últimos anos, em função da substituição do Metil Tércio Butil Éter (MTBE) pelo etanol como oxigenador da gasolina em vários Estados (Neves e Conejero, 2007). Como se pode observar na Figura 14, a produção americana de etanol dobrou nos últimos 4 anos, enquanto a produção brasileira cresceu 38%. No entanto, conforme salientam Burnquist e Souza (2011), embora os Estados Unidos tenham apresentado um rápido crescimento da produção de etanol em período recente, seu consumo é superior à sua produção doméstica, o que torna o país também o maior importador no mercado mundial.

Figura 13 – Principais países produtores de etanol, 2010

Fonte: RFA (2012).

Figura 14 – Evolução da produção mundial de etanol, de 2007 a 2010

Fonte: RFA (2012).

Neves e Conejero (2007) afirmam que o mercado internacional de etanol vem se abrindo especialmente para o etanol anidro, dadas as políticas governamentais de adição de etanol na gasolina. Além da preocupação político-econômica de alguns países com a dependência do petróleo, há também o interesse em manter uma matriz energética baseada em recursos renováveis e menos poluentes. Nesse sentido, vários países já aprovaram metas obrigatórias e outros já possuem uma política de autorização da adição. Dadas as condições favoráveis de produção, por sua extensão territorial e características de clima e solo, espera-se que o produto brasileiro seja grandemente competitivo nesse mercado. Bacchi (2009) menciona os principais programas e estudos voltados para o uso do etanol como combustível no mundo, dentre os quais se pode destacar o do Brasil, com a mistura de 18 a 25% de etanol anidro em toda a gasolina consumida, e o dos Estados Unidos, onde há a mistura obrigatória de 10% de etanol anidro na gasolina em alguns estados.

Embora não seja o principal produtor de etanol no mundo, o Brasil apresenta um consumo inferior à sua produção, o que o torna o único exportador significativo do combustível. As exportações brasileiras de etanol, até 2003, representavam um valor pequeno em relação à produção (Figura 15). A partir de 2004, o volume exportado de etanol cresceu significativamente, atingindo, em 2008, 5,2 milhões de

m³ e US\$ 2,4 bilhões em divisas. Com a crise de 2008, porém, o crescimento das exportações de etanol foi interrompido, sendo que, em 2009, 3,3 milhões de m³ foram exportados (US\$ 1,4 bilhões) e, em 2010, apenas 1,9 milhões de m³ (US\$ 1 bilhão).

Figura 15 – Evolução das exportações brasileiras de etanol, 2000 – 2010

Fonte: Unica (2011) e Anuário de Energias Renováveis (2011).

2.3.3 O etanol no Brasil

Conforme já mencionado, o Brasil destaca-se por possuir a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com mais de 45% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar (BRASIL, 2011). Dentre essas fontes, os derivados da cana-de-açúcar vêm aumentando a sua participação no consumo interno de energia, passando de 10,9% em 2000 para 17,8% em 2010. Neste mesmo período, a participação do petróleo e derivados na matriz energética brasileira diminuiu de 45,5% para 37,6%. Atualmente, a cana-de-açúcar é segunda mais importante fonte da matriz energética brasileira após ultrapassar, em 2007, a participação da energia hidráulica (Figura 16).

Figura 16 – Matriz energética brasileira, 1970-2010

Fonte: EPE (2012).

Apesar de importância crescente dos derivados da cana-de-açúcar e, em especial, o etanol combustível, na matriz energética brasileira, sua participação no perfil energético do setor de transporte rodoviário no Brasil ainda é pequena. Em 2010, o etanol representou 18% desse consumo, sendo 12% representado pelo etanol hidratado e 6% pelo etanol anidro, enquanto o óleo diesel representou metade do consumo final do setor de transporte rodoviário (Figura 17). O etanol anidro é adicionado à gasolina automotiva em proporções que variam entre 18 e 25%, a depender de determinação do governo federal, o etanol hidratado é utilizado puro nos veículos a etanol e, mais recentemente, também em mistura de quaisquer proporções com a gasolina nos veículos *flex-fuel*.

Figura 17 – Perfil energético do setor de transporte rodoviário no Brasil em 2010

Fonte: Anuário de Energias Renováveis (2011).

Em seu estudo, Neves e Conejero (2007) traçam cenários de oportunidades e ameaças para o etanol brasileiro e suas considerações estão sumarizadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Oportunidades e ameaças ao avanço do etanol brasileiro

(Continua)

Ambiente	Oportunidades	Ameaças
Político-legal	Forte coordenação e reaproximação com os EUA, a redução tarifária, a adição de etanol em outros países e a redução do ICMS dos Estados do Brasil, que distorcem o preço do etanol.	Levantamento de barreiras tarifárias, o perigo de barreiras “ambientais” e a lacuna de legislação para padronização visando à exportação. A proibição da queimada inviabilizará algumas áreas e a própria legislação ambiental e trabalhista buscará cada vez mais a sustentabilidade.
Sociocultural	Crescimento da preocupação das sociedades com relação ao meio ambiente.	Imagem do emprego na colheita, a imagem de ocupação de terra (monocultura) e das queimadas.

Tabela 5 – Oportunidades e ameaças ao avanço do etanol brasileiro

(Continuação)

Ambiente	Oportunidades	Ameaças
Econômico e natural	Crescimento da frota <i>flex-fuel</i> no Brasil, a exportação da tecnologia e de usinas com o investimento no etanol e açúcar fora do Brasil, o crescimento do consumo de açúcar no mundo, os preços firmes do petróleo, o investimento internacional no Brasil e futuras quebras de produção em outros países.	Surgimento de novos concorrentes internacionais (Caribe, África), a falta de capacidade fabril para expansão (máquinas e equipamentos), uma forte redução do preço do petróleo (o que parece improvável), alguma doença ou praga na cana, uma variação climática trazendo redução da área disponível, a valorização do real diminuindo margens, o custo dos insumos e a concentração da venda de etanol a poucos grandes mercados (EUA) ou empresas (ex. Petrobras).
Tecnológico	Frota de automóveis <i>flex-fuel</i> , mecanização da colheita, uso da biomassa da cana (etanol a partir da palha e bagaço), a modificação genética, o uso de satélites e agricultura de precisão, a pesquisa (novas variedades) e novas fontes de fertilizantes.	Produtos substitutos ao açúcar ou etanol, ganhos tecnológicos nos concorrentes da cana e tecnologias geradoras de energia mais competitivas que possam aparecer.

Fonte: Neves e Conejero (2007)

Não menos importante que os cenários prospectivos para o etanol brasileiro é o entendimento do processo que levou à consolidação de sua posição como o principal combustível dos veículos automotores e comerciais leves. Nesse sentido, Jank (2009), ao analisar a matriz energética do Brasil desde os anos 70, descreve cinco fases de políticas de combustíveis. Primeiramente, na década de 70, houve um processo de substituição da gasolina pelo diesel, devido à política de preços artificiais. Isso provocou aumento da frota a diesel e das importações do combustível.

O primeiro choque do petróleo, quando o preço médio do barril aumentou de US\$ 2,91 em setembro de 1973 para US\$ 12,45 em março de 1975, juntamente com uma séria crise no mercado internacional de açúcar, levou à criação do Programa

Nacional do Álcool, o Proálcool, em novembro de 1975 (ANUÁRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2011). Esta é a segunda fase descrita por Jank (2009), na década de 80. O Proálcool inicialmente ampliou o uso do etanol anidro misturado à gasolina, cuja mistura já era utilizada desde 1931, quando o etanol carburante era adicionado à gasolina importada por determinação do governo federal. O objetivo era a absorção do excedente da produção de etanol e a substituição do chumbo-tetraetila, altamente poluente, como aditivo à gasolina. O segundo choque do petróleo, em 1979, quando o seu preço atingiu novo pico histórico, viabilizou a entrada dos veículos movidos a etanol hidratado no mercado, inaugurando nova fase do Proálcool. Com o grande sucesso dessa fase, 95% dos veículos leves produzidos eram movidos a etanol hidratado em 1985.

Já na década de 90, com a queda dos preços internacionais do petróleo, o etanol começou a perder competitividade frente à gasolina, apesar dos bons resultados no aumento da produtividade pela indústria sucroenergética. O governo reduziu os incentivos, deixando de remunerar o alto nível de oferta necessária para o atendimento da frota, o que resultou na crise de desabastecimento de etanol em 1989/1990. Consequentemente, a gasolina rapidamente recuperou importância na matriz energética brasileira.

No final da década de 90 ocorreram incentivos ao Gás Natural Veicular (GNV), com forte expansão da conversão de veículos para gás, substituindo o etanol hidratado e a gasolina. O principal estímulo para o uso do gás natural era o excedente temporário desse combustível, cuja oferta é cada vez mais escassa e cara.

Finalmente, a quinta fase é descrita como a revolução com o advento dos veículos *flex-fuel*, inaugurando nova etapa do etanol hidratado e possibilitando ao consumidor a escolha do combustível ao abastecer e não mais na aquisição do veículo. Entre 2003 e 2008 foram comercializados mais de 15,3 milhões de carros *flex-fuel* e, hoje, eles são responsáveis por mais de 90% dos veículos comercializados no país (ANFAVEA, 2012). A Figura 18 mostra a evolução das vendas internas de automóveis e comerciais leves, por tipo de combustível.

Figura 18 – Vendas internas de automóveis e comerciais leves, por tipo de combustível

Fonte: Unica (2011) e ANFAVEA (2012).

Se, até 2003, o mercado brasileiro de etanol foi sustentado pela mistura obrigatória de etanol anidro e por uma frota em extinção dos antigos carros a álcool, a partir do lançamento dos veículos bicompostíveis, a demanda de etanol hidratado apresentou um crescimento vertiginoso. O crescimento da frota *flex-fuel* e a competitividade do preço do etanol em relação ao da gasolina, observada na maior parte do período recente, fizeram com que as vendas do etanol hidratado quintuplicassem em cinco anos. Analisando-se o mercado paulista de combustíveis, observa-se que as vendas mensais de etanol hidratado superaram a de gasolina C no período de maio de 2008 a dezembro 2009, e novamente de abril de 2010 a janeiro 2011 (Figura 19).

Figura 19 – Evolução das vendas de etanol hidratado e gasolina C no varejo - Estado de São Paulo, 2001 a 2011

Fonte: ANP (2012).

2.3.4 Relações de preços envolvendo o mercado de etanol

Para a análise proposta no presente estudo, é essencial a compreensão das inter-relações do mercado de etanol com os mercados de açúcar e de gasolina. É importante também o entendimento da relação dos mercados de etanol anidro e hidratado. Essas relações são descritas a seguir.

2.3.4.1 Relação entre açúcar e etanol

Nas usinas típicas, produtoras de açúcar e de etanol, esses dois produtos disputam a mesma matéria-prima (cana-de-açúcar), podendo, assim, ser considerados produtos concorrentes do lado da oferta. As usinas de açúcar com destilaria anexa podem direcionar o caldo proveniente da moagem tanto para fabricação de açúcar como de etanol, dependendo da rentabilidade relativa desses produtos. De acordo com Farina et al. (2010), essa relação permite ao produtor certa flexibilidade na produção, funcionando como um redutor de risco do negócio, já que esses produtos são independentes do lado da demanda.

Assim, esta relação constitui uma alternativa de produção para o usineiro frente a choques de demanda ou de oferta dos produtos. Dada essa característica da indústria, os mercados de açúcar e etanol são altamente relacionados, como se observa na Figura 20. Quando o preço em um mercado aumenta, por exemplo, o direcionamento da matéria-prima na usina se altera, favorecendo um aumento na produção de um produto, em detrimento do outro, reduzindo-se a oferta deste último, com consequente aumento de preços. Há ainda que se considerar a influência do mercado externo de açúcar sobre o mercado interno. Segundo Campos (2010) essa influência se dá via exportações e o preço internacional torna-se a principal referência para os agentes domésticos que operam neste mercado.

Figura 20 – Índice de preços reais de etanol hidratado ao produtor, de açúcar ao produtor no mercado doméstico e de açúcar no mercado internacional, maio de 2001 a março de 2011

Fonte: CEPEA/ESALQ/USP (2011) e NYBOT (2011).

Conforme salientam Bacchi et al. (2011), embora os preços de etanol e de açúcar apresentem tendências semelhantes ao longo do tempo, existem diferenças significativas em alguns momentos, as quais podem ser relacionadas com: a flexibilidade limitada das usinas em se alocar a matéria-prima para açúcar ou etanol por fatores de ordem técnica (capacidade instalada) ou institucional

(estabelecimento de contratos); o número de plantas produzindo apenas etanol (destilarias autônomas); e a existência de teto para o preço do etanol, que não deve ultrapassar o limite de 70% do preço da gasolina.

2.3.4.2 Relação entre etanol hidratado e gasolina

Conforme já mencionado, o lançamento dos carros *flex-fuel* em 2003 transformou o mercado de combustíveis no Brasil, trazendo aos consumidores a possibilidade de abastecer seus veículos com etanol, gasolina C ou qualquer proporção dos dois tipos de combustível. Com isso, o etanol hidratado pode ser considerado um concorrente da gasolina C do lado da demanda. Dada a eficiência energética relativa entre os combustíveis, o etanol é competitivo perante a gasolina quando seu preço não ultrapassa o índice de 70% do preço do combustível fóssil.

A Figura 21 compara a evolução do índice de preço do barril de petróleo (WTI) negociado em Bolsa (NYMEX), a evolução dos preços médios da gasolina C e etanol hidratado no varejo para o Estado de São Paulo. Nota-se um descolamento das séries, principalmente devido à estabilidade dos preços da gasolina C, os quais não acompanham a volatilidade do índice de preços do petróleo no mercado internacional devido à política de controle de preços adotada pelo governo federal.

Figura 21 – Evolução dos preços reais de etanol hidratado e de gasolina C no varejo para o Estado de São Paulo, e índice de preços do petróleo no mercado internacional, maio de 2001 a março de 2011

Fonte: CEPEA/ESALQ/USP (2011), ANP (2011) e IPEADATA (2011)

2.3.4.3 Relação entre etanol anidro e hidratado

O teor de etanol anidro, que deve ser adicionado à gasolina A para produção da gasolina C, é fixado por portaria do Ministério da Agricultura (decreto nº 3.966/2001) e pode variar de 18% a 25%, em volume, segundo a lei nº 10.696/2003.

O custo de produção do etanol anidro é maior do que o do etanol hidratado, uma vez que o primeiro é derivado do segundo no processo industrial. A Figura 22 compara os preços do etanol anidro e do hidratado recebidos pelos produtores no Estado de São Paulo, sem frete e sem impostos.

Figura 22 – Índice de preços reais de etanol hidratado e anidro ao produtor e de etanol hidratado no varejo, para o Estado de São Paulo, janeiro de 2002 a março de 2011

Fonte: CEPEA/ESALQ/USP (2011).

2.4 Trabalhos de referência

De acordo com Bacchi (2009), trabalhos sobre o mercado de combustível utilizando métodos quantitativos são escassos na literatura brasileira em função da regulamentação existente no setor até período recente e da consequente indisponibilidade de séries históricas suficientemente longas para o período de livre mercado. Dessa forma, as séries temporais disponíveis impossibilitavam a identificação de um padrão sistemático do comportamento dos preços, por terem número reduzido de observações no período de livre mercado.

A autora destaca que alguns estudos feitos para o mercado brasileiro de combustíveis utilizaram séries mistas, que incluíam período regulamentado e liberado, o que comprometia, de certa forma, os resultados obtidos. Atualmente, já se dispõe de séries históricas suficientemente longas para período de preços liberados para o caso dos produtos do setor sucroenergético. De forma geral, a

literatura assinala que a demanda por gasolina não é sensível a variações de renda e de preços, enquanto que o etanol responde mais a essas variáveis.

Marjotta-Maistro (2002) analisou o mercado de combustíveis, relacionando os efeitos de alterações em variáveis associadas à oferta e demanda sobre o comportamento dos agentes num mercado parcialmente liberado (1995 a 2000). Utilizou-se o método de estimação de Mínimos Quadrados em Dois Estágios para o Modelo de Ajuste pelo Preço, e de Mínimos Quadrados Ordinários para o Modelo de Ajuste pela Quantidade. Os resultados do primeiro modelo indicaram a existência de certa inércia nos movimentos de preços, típica dos sistemas de controle de preços que prevaleciam na década de 1990. Com os resultados do segundo modelo, o governo tendia a absorver os choques externos de preços não os repassando imediatamente ao varejo e este, por sua vez, não repassava, na mesma proporção, ao consumidor final.

Lomounier et al. (2006) analisou o processo decisório de curto prazo segundo o qual as usinas de açúcar e etanol direcionaram a cana-de-açúcar para esses produtos. O período analisado compreendeu as safras 2001/02 e 2004/05 e o autor considerou as sinalizações de mercado, isto é, preços internos (à vista e futuro) e preço internacional (no caso do açúcar). Foi utilizado um modelo SUR (*Seemingly unrelated regressions*) para dados quinzenais de produção dos estados do Centro-Sul do País. Os resultados apontaram que os preços de açúcar e etanol afetaram a relação de produção em apenas alguns estados e durante safras pontuais, isto é, não apresentaram uma regularidade. Além disso, foi observado que em vários casos, o aumento (queda) do preço do açúcar (etanol) levou a uma diminuição (aumento) da sua produção, o que pode sugerir que a variável preço pode não ter grande influência na decisão alocativa de curto prazo do empresário.

Dias (2008) analisou os determinantes das ofertas de açúcar e etanol no Paraná utilizando testes de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e de cointegração de Johansen. Para a estimação dos modelos econométricos, considerou-se que: a oferta de açúcar corresponde a uma função direta dos preços médios do açúcar nacional e internacional, do etanol, da cana e do rendimento agrícola; a oferta de etanol total corresponde a uma função direta dos preços médios do etanol, do açúcar nacional e internacional, da cana e do rendimento agrícola. Apenas as variáveis de preços mostraram-se significativas. Os resultados para a oferta do etanol apresentaram-se de acordo com o esperado. A variável preço médio

do etanol contemporâneo mostrou-se não significativa e foi retirada do modelo. Considerando uma defasagem, a resposta na oferta de etanol é de 0,77% para um aumento de 1% no preço. O preço médio do açúcar internacional com um ano de defasagem influencia negativamente a oferta de etanol (1% de aumento nesta variável diminui em 0,42% a oferta de etanol).

Bacchi (2009) estimou de um modelo analítico para explicar a relação entre os mercados paulistas de etanol hidratado combustível e de gasolina C, utilizando a Análise de Auto-Regressão Vetorial (VAR). Os resultados apontam, de forma geral, que choques de demanda (variação na renda dos consumidores) afetam mais o consumo de combustíveis do que choques de oferta (variações de preço de matéria-prima). Apontam, também, que os efeitos de choques exógenos sobre as variáveis são todos de curta duração, mostrando que os ajustamentos no mercado de combustíveis acontecem de forma rápida.

Campos (2010) utilizou a Análise de Auto-Regressão Vetorial (VAR) para investigar os fatores que afetam o comportamento dos preços de etanol, de açúcar no mercado doméstico e do preço de açúcar no mercado internacional. No caso do preço doméstico de etanol, os preços internacional e doméstico do açúcar desempenham razoavelmente a tarefa de previsão, embora os erros de previsão cheguem a 40%. Para a autora, sendo o etanol uma *commodity* menos transacionada externamente, comparativamente ao açúcar, o etanol tem preços mais sensíveis a fatores idiossincráticos (como produtividade e clima).

Farina et al. (2010) estimaram a demanda interna de etanol hidratado e de gasolina C, utilizando a análise de cointegração. Os resultados apontam que o consumo de etanol hidratado é mais sensível a preços do que o consumo de gasolina C, de onde se conclui que, em termos de política pública para o etanol, a variável preço é suficiente para regular o mercado. A variação de 1% no preço do etanol afeta negativamente em 1,23% a sua demanda e aumenta em 0,28% o consumo de gasolina no Brasil. Por outro lado, um aumento de 1% no preço da gasolina aumenta em 1,45% a demanda brasileira por etanol e diminui em 0,63% o consumo de gasolina. As autoras salientam o fato de que a demanda por gasolina C tornou-se mais elástica a partir de 2003, com o advento dos veículos *flex-fuel*, o que indica que o combustível renovável tem se tornado um substituto menos imperfeito do combustível fóssil. As autoras mencionam ainda a política de preços da Petrobrás para os derivados de petróleo como intervenção estatal e defendem que o

funcionamento livre do mercado de combustíveis é a forma mais eficiente de se dar incentivos corretos para a expansão sustentável da produção.

3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem econométrica

Para se analisar os fatores que influenciam as variações no preço do etanol combustível no Estado de São Paulo, considerando as suas inter-relações com o mercado de gasolina e de açúcar, será utilizada a Análise de Auto-Regressão Vetorial (VAR). Essa metodologia, inicialmente proposta por Sims (1980), tem sido amplamente utilizada na modelagem de séries econômicas por sua eficácia em estimar modelos que envolvem inter-relações complexas de variáveis, sendo uma das suas principais características a geração de parâmetros que podem ser utilizados em análises prospectivas (BACCHI, 2009). Outra característica desta metodologia é a grande variedade de resultados gerados, o que possibilita uma maior riqueza de análise das inter-relações entre as variáveis de interesse.

O uso da metodologia VAR permite a obtenção de elasticidades de impulso para k períodos à frente. Essas elasticidades de impulso possibilitam a avaliação do comportamento das variáveis em resposta a choques individuais não antecipados em quaisquer dos componentes do sistema, podendo-se assim analisar, através de simulação, efeitos de eventos que tenham alguma probabilidade de ocorrer.

Conforme salienta Bacchi (2009), se forem utilizados os logaritmos das variáveis no ajustamento do modelo e se cada valor da função de respostas a impulso for dividido pelo valor inicial obtido nessa função para a variável que recebeu o choque, os resultados podem ser interpretados como elasticidades.

A metodologia VAR permite também a decomposição da variância dos erros de previsão, k períodos à frente, em percentuais a serem atribuídos a cada variável do sistema. Com esses percentuais, pode-se estimar o poder explanatório de cada variável sobre as demais.

Com o desenvolvimento da abordagem estrutural para o modelo VAR, tornou-se possível analisar as relações contemporâneas entre as variáveis, que são estabelecidas com base na teoria econômica. Dessa forma é necessário desenvolver um modelo teórico que conduza a hipóteses que fundamentem as restrições a serem impostas nas relações contemporâneas entre as variáveis, de forma a se obter identificação no modelo empírico (SILVA NETO, 2011).

A seguir, são detalhados os procedimentos econométricos utilizados para se atingir os objetivos propostos.

3.1.1 Teste de raiz unitária

Para a aplicação da metodologia proposta é necessário, primeiramente, verificar se as séries são estacionárias, isto é, se possuem média e variância constantes e covariância dependente apenas das defasagens entre períodos de tempo (e não do período de tempo em que a covariância é calculada).

Diversos estudos procuram estabelecer procedimentos para determinar a ordem de integração de uma variável (número de raízes unitárias), como Fuller (1976) e Dickey e Fuller (1979; 1981). Silva Neto (2011) cita outros testes desenvolvidos posteriormente, como Said e Dickey (1984), Phillips (1987) e Phillips e Perron (1988), os quais, segundo o autor, são considerados na literatura como modificações do teste Dickey-Fuller.

Dentre os procedimentos para verificação da estacionariedade de séries temporais, o teste desenvolvido por Elliot, Rothenberg e Stock (1996), também conhecido como *Dickey-Fuller Generalized Least Square* – DF-GLS, é indicado para pequenas amostras. Este teste apresenta um poder significativamente maior do que os testes de Dickey-Fuller, especialmente quando há no processo gerador das séries média ou tendência desconhecidas (SILVA NETO, 2001). As alterações em relação aos testes de Dickey-Fuller estão fundamentadas em dois aspectos: 1) a extração da tendência de uma série utilizando Mínimos Quadrados Ordinários não é eficiente; e 2) necessidade de uma melhor aproximação do modelo especificado ao verdadeiro processo gerador da série através de uma seleção apropriada de sua ordem.

Os autores propõem a utilização de Mínimos Quadrados Generalizados (MQG) para, posteriormente, empregar o procedimento padrão DF ou ADF na série filtrada (da qual são removidos seus componentes deterministas) com o objetivo de testar, através da estatística t , a hipótese nula $H_0: \alpha_0 = 0$ (presença de raiz unitária) contra a hipótese alternativa $H_1: \gamma_0 < 0$ (série estacionária). O teste DF-GLS é representado pela equação abaixo, a qual é estimada por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com y_t^d representando uma série com seus componentes deterministas removidos por Mínimos Quadrados Generalizados (MQG).

$$\Delta y_t^d = \gamma_0 y_{t-1}^d + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta y_{t-j}^d + e_t \quad (1)$$

Os valores críticos foram obtidos pelos autores para um modelo incluindo constante e tendência. No caso de o modelo incluir apenas constante, os valores críticos são os mesmos dos testes DF ou ADF. Quanto à escolha do número de defasagens, é usado o Critério Modificado de Akaike – MAIC, desenvolvido por Ng e Perron (2001).

3.1.2 Auto-Regressão vetorial - VAR

Satolo (2008), citando Judge et al. (1988), afirma que um conjunto de equações pode ser considerado como a forma estrutural de um sistema de equações simultâneas que especifica explicitamente uma relação intertemporal entre as variáveis endógenas, sendo, portanto, dinâmico.

De acordo com Bacchi (2009), um modelo VAR estrutural pode ser escrito como:

$$\mathbf{B}_0 \mathbf{y}_t = \mathbf{B}_1 \mathbf{y}_{t-1} + \mathbf{B}_2 \mathbf{y}_{t-2} + \dots + \mathbf{B}_p \mathbf{y}_{t-p} + \mathbf{e}_t \quad (2)$$

onde $\mathbf{B}_0$ é a matriz de relações contemporâneas; $\mathbf{y}_t$ é um vetor com as variáveis cujas inter-relações são analisadas; $\mathbf{B}_j$ são matrizes ($n \times n$) para qualquer j , e $\mathbf{e}_t$ é um vetor $n \times 1$ de choques ortogonais.

De acordo com Enders (2004), considera-se como pressuposição necessária para a estimação de um modelo VAR que as variáveis sejam estacionárias. Com relação aos erros, considera-se que sejam ruídos-brancos com desvios-padrões constantes e que não devem ser correlacionados.

A equação (2) pode ser escrita como:

$$\mathbf{B}(L) \mathbf{y}_t = \mathbf{e}_t \quad (3)$$

onde $\mathbf{B}(L)$ é um polinômio em L ($\mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1 L + \mathbf{B}_2 L^2 + \dots + \mathbf{B}_p L^p$) com L sendo o operador de defasagem tal que $L^j y_t = y_{t-j}$ para j inteiro.

Pré multiplicando-se (3) por $\mathbf{B}_0^{-1}$ e obtém-se a forma reduzida que pode ser estimada pelo Método dos Mínimos Quadrados:

$$\mathbf{A}(L)\mathbf{y}_t = \mathbf{u}_t \quad (4)$$

onde $\mathbf{A}(L) = \mathbf{B}_0^{-1}\mathbf{B}(L)$, $\mathbf{A}_0 = \mathbf{I}_n$ e $\mathbf{u}_t = \mathbf{B}_0^{-1}\mathbf{e}_t$

Segundo Bacchi (2009), o procedimento de Bernanke (1986) estima os coeficientes de $\mathbf{B}_0$ e $\mathbf{D}$, através da maximização do logaritmo da função de verossimilhança condicionada em $\hat{\Omega}$ (equação 5), sob a pressuposição de normalidade dos resíduos.

$$L = -(Tn/2)\log(2\pi) + (T/2)\log|\mathbf{B}_0|^2 - (T/2)\log|\mathbf{D}| - (T/2)\text{tr}\left\{\left(\mathbf{B}_0' \mathbf{D}^{-1} \mathbf{B}_0\right)\hat{\Omega}\right\} \quad (5)$$

Ainda de acordo com a autora, em caso de um processo estacionário, a equação (4) pode ser escrita na forma de média móvel, como abaixo:

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{C}(L)\mathbf{u}_t \quad (6)$$

onde $\mathbf{C}(L)$, que é estimado conhecendo-se $\mathbf{A}(L)$, é um polinômio de ordem infinita de matrizes $\mathbf{C}_j$.

Reescrevendo-se a equação (6) em termos de $\mathbf{e}_t$ tem-se a equação (7), a qual é utilizada na análise da intensidade e do perfil temporal dos impulsos (efeitos dos choques ortogonais) e da decomposição da variância do erro de previsão (importância de cada variável em termos da capacidade de explicar a variância dos erros das demais).

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{C}(L)\mathbf{B}_0^{-1}\mathbf{e}_t \quad (7)$$

Em caso de não estacionariedade das séries que compõe o vetor y_t , deve-se estimar um VAR nas diferenças:

$$A^*(L)(1-L)y_t = u_t \quad (8)$$

onde $A^*(L) = I + A_1^*L + \dots + A_{p-1}^*L^{p-1}$ e $A_j^* = -\sum_{j=i+1}^p A_j$.

3.1.3 Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro - VEC

Conforme afirma Silva Neto (2011), quando as variáveis de um modelo VAR estrutural são não estacionárias é necessário conciliar movimentos de curto prazo com equilíbrios de longo prazo. No caso de modelos multivariados, deve-se adotar o procedimento de cointegração de Engle e Granger (1987). De acordo com tal procedimento, os componentes de um vetor y_t são considerados cointegrados de ordem d , b , denotado por $y_t \sim CI(d,b)$, se: (1) todos os componentes são $I(d)$; 2) existe um vetor $\beta \neq 0$ tal que $z_t = \beta' y_t$ é $I(d-b)$, $b > 0$. Se $d = b = 1$, todos os componentes do vetor y_t são $I(1)$ e há uma combinação linear desses componentes que é estacionária.

No caso de cointegração entre as variáveis, a equação (8) deve ser escrita como a equação (9), a qual representa um modelo de "correção de erro" (BACCHI, 2009):

$$A^*(L)(1-L)y_t = \lambda z_{t-1} + u_t \quad (9)$$

onde λ é uma matriz $n \times r$, com r sendo o número de relações de cointegração.

Para se testar a existência de cointegração entre as variáveis, pode-se utilizar o procedimento de Johansen (1988), o qual é fundamentado na seguinte versão de um modelo VAR(p).

$$\Delta \mathbf{y}_t = \Gamma_1 \Delta \mathbf{y}_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta \mathbf{y}_{t-p+1} + \Pi \mathbf{y}_{t-1} + \mu + \varphi \mathbf{d}_t + \varepsilon_t \quad (10)$$

onde $\mathbf{y}_t$ é um vetor com k variáveis, $\varepsilon_t \sim N(0, \Sigma)$ e $E(\mathbf{e}_t \mathbf{e}_s') = 0$ para qualquer t diferente de s e $\mathbf{d}_t$ é um vetor de variáveis binárias para captar a variação estacional.

Para a determinação da ordem do processo auto-regressivo, são utilizados os critérios AIC (*AKAIKE Information Criterion*) e SC (*SCHWARZ Criterion*), num contexto multi-equacional.

Considerando que r seja o posto da matriz Π , então Π tem r autovalores diferentes de zero. Se $r = k$, então $\mathbf{y}_t$ é estacionário. Em caso de $r = 0$, então $\Delta \mathbf{y}_t$ é estacionário. Finalmente, se $0 < r < n$, existem matrizes α e β de dimensão $k \times r$ tais que $\Pi = \alpha \beta'$ e o vetor $\beta' \mathbf{y}_t$ é estacionário, havendo, portanto, r vetores de cointegração (as r colunas de β). Em seu estudo, Bacchi (2009) apresenta dois testes para a identificação do número de vetores de cointegração: teste do traço e do λ_{max} . O teste do traço é dado por:

$$-2\ln(Q) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \lambda_i) \quad (11)$$

e o teste λ_{max} é simplesmente a diferença entre estatísticas-traço consecutivas.

3.1.4 Função de respostas a impulso

Em seu estudo, Bacchi (2009) descreve os procedimentos para a obtenção da função de respostas a impulso, considerando-se o seguinte modelo bivariado expresso na forma reduzida (12) e sua representação de média móvel (13):

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$x_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} A_1^i e_{t-i} \quad (13)$$

com $\mu = [\bar{x}, \bar{y}]$.

A equação (13) ainda pode ser escrita como (14) para expressar y_t e z_t em termos das sequencias $\{e_{1t}\}$ e $\{e_{2t}\}$:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} e_{1,t-i} \\ e_{2,t-i} \end{bmatrix} \quad (14)$$

No entanto, pode-se escrever (14) em termos dos choques do modelo estrutural $\{\varepsilon_{zt}\}$ e $\{\varepsilon_{yt}\}$. Como $\mathbf{e}_t = \mathbf{B}^{-1} \varepsilon_t$ tem-se:

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} = \left[(1/1 - b_{12}b_{21}) \right] \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{bmatrix}$$

e

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \left[(1/1 - b_{12}b_{21}) \right] \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{y,t-i} \\ \varepsilon_{z,t-i} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Para simplificar, pode-se definir uma matriz ϕ_i dos elementos $\phi_{jk}(i)$.

$$\phi_i = \left[(A_1^i / 1 - b_{12}b_{21}) \right] \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix}$$

Assim, tem-se:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \phi_{11}(i) & \phi_{12}(i) \\ \phi_{21}(i) & \phi_{22}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{y,t-i} \\ \varepsilon_{z,t-i} \end{bmatrix} \quad (16)$$

e, de forma mais compacta:

$$\mathbf{x}_t = \boldsymbol{\mu} + \sum_{i=0}^{\infty} \boldsymbol{\Phi}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{t-i} \quad (17)$$

A representação de média móvel é especialmente utilizada para examinar as interações entre y_t e z_t . Os coeficientes ϕ_i podem ser usados para gerar os efeitos de choques em ε_{yt} e ε_{zt} , sendo que os elementos $\phi_{jk}(i)$ são multiplicadores de impacto. Dessa forma, o coeficiente $\phi_{12}(0)$, por exemplo, mede o impacto instantâneo da mudança em uma unidade de $\{\varepsilon_{zt}\}$ sobre y_t . Do mesmo modo, $\phi_{11}(1)$ e $\phi_{12}(1)$ são, respectivamente, a resposta de y_t , após um período, à mudança em uma unidade de $\{\varepsilon_{yt}\}$ e $\{\varepsilon_{zt}\}$. Após n períodos, o efeito acumulado dos choques ε_{zt} sobre a sequência $\{y_t\}$ é:

$$\sum_{i=0}^n \phi_{12}(i) \quad (18)$$

A esses quatro conjuntos de coeficientes $\phi_{11}(i)$, $\phi_{12}(i)$, $\phi_{21}(i)$ e $\phi_{22}(i)$ dá-se o nome de função de respostas a impulso, cujas elasticidades podem ser assim representadas:

$$\text{Elasticidade } z_t, y_t = \frac{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } z \text{ no período } t}{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } y \text{ no primeiro período } (t)}$$

$$\text{Elasticidade } z_{t+1}, y_t = \frac{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } z \text{ no período } t+1}{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } y \text{ no primeiro período } (t)}$$

$$\text{Elasticidade } z_{t+2}, y_t = \frac{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } z \text{ no período } t+2}{\text{efeito de um choque em } y \text{ sobre } y \text{ no primeiro período } (t)}$$

3.1.5 Decomposição da variância do erro de previsão

De acordo com Bacchi (2009), a utilização da metodologia VAR também permite proceder à decomposição da variância dos erros de previsão k períodos à frente. Supondo que sejam conhecidos os coeficientes A_0 e A_1 e que se deseje prever os valores de x_{t+1} condicionais ao valor de x_t um período à frente, ou seja, $x_{t+1} = A_0 + A_1 x_t + e_{t+1}$, a expectativa condicional de x_{t+1} é:

$$Ex_{t+1} = A_0 + A_1 x_t \quad (19)$$

Sendo o erro de previsão um passo a frente expresso por:

$$x_{t+1} - Ex_{t+1} = e_{t+1} \quad (20)$$

Do mesmo modo, a previsão x_t dois passos a frente é:

$$\begin{aligned} x_{t+2} &= A_0 + A_1 x_{t+1} + e_{t+2} \\ &= A_0 + A_1 (A_0 + A_1 x_t + e_{t+1}) + e_{t+2} \\ &= A_0 + A_1 A_0 + A_1^2 x_t + A_1 e_{t+1} + e_{t+2} \end{aligned} \quad (21)$$

Tomando-se as expectativas condicionais, obtém-se:

$$Ex_{t+2} = [I + A_1] A_0 + A_1^2 x_t \quad (22)$$

O erro de previsão dois passos a frente, ou seja, a diferença entre a realização de x_{t+2} e a previsão, é $e_{t+2} + A_1 e_{t+1}$. Generalizando, tem-se:

$$Ex_{t+n} = (I + A_1 + A_1^2 + \dots + A_1^{n-1}) A_0 + A_1^n x_t \quad (23)$$

e o erro de previsão n passos a frente é:

$$\mathbf{e}_{t+n} + \mathbf{A}_1 \mathbf{e}_{t+n-1} + \mathbf{A}_1^2 \mathbf{e}_{t+n-2} + \dots + \mathbf{A}_1^{n-1} \mathbf{e}_{t+1} \quad (24)$$

Usando:

$$\mathbf{x}_t = \boldsymbol{\mu} + \sum_{i=0}^{\infty} \boldsymbol{\varphi}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{t-i} \quad (25)$$

tem-se:

$$\mathbf{x}_{t+n} = \boldsymbol{\mu} + \sum_{i=0}^{\infty} \boldsymbol{\varphi}_i \mathbf{e}_{t+n-i} \quad (26)$$

O erro de previsão n passos a frente é:

$$\mathbf{x}_{t+n} - E\mathbf{x}_{t+n} = \sum_{i=0}^{n-1} \boldsymbol{\varphi}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{t+n-i} \quad (27)$$

Exemplificando para $n = 3$.

$$\mathbf{x}_{t+3} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varphi}_0 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+3} + \boldsymbol{\varphi}_1 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+2} + \boldsymbol{\varphi}_2 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+1} + \boldsymbol{\varphi}_3 \boldsymbol{\varepsilon}_t + \boldsymbol{\varphi}_4 \boldsymbol{\varepsilon}_{t-1} + \boldsymbol{\varphi}_5 \boldsymbol{\varepsilon}_{t-2} + \dots \quad (28)$$

e

$$E\mathbf{x}_{t+3} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varphi}_3 \boldsymbol{\varepsilon}_t + \boldsymbol{\varphi}_4 \boldsymbol{\varepsilon}_{t-1} + \boldsymbol{\varphi}_5 \boldsymbol{\varepsilon}_{t-2} + \dots \quad (29)$$

e

$$\mathbf{x}_{t+3} - E\mathbf{x}_{t+3} = \boldsymbol{\varphi}_0 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+3} + \boldsymbol{\varphi}_1 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+2} + \boldsymbol{\varphi}_2 \boldsymbol{\varepsilon}_{t+1}$$

ou

$$\mathbf{x}_{t+3} - E\mathbf{x}_{t+3} = \sum_{i=0}^{3-1} \boldsymbol{\varphi}_i \boldsymbol{\varepsilon}_{t+3-i} \quad (30)$$

Em termos matriciais, tem-se:

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11}(0) & \phi_{12}(0) \\ \phi_{21}(0) & \phi_{22}(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{y,t+3} \\ \varepsilon_{z,t+3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11}(1) & \phi_{12}(1) \\ \phi_{21}(1) & \phi_{22}(1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{y,t+2} \\ \varepsilon_{z,t+2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11}(2) & \phi_{12}(2) \\ \phi_{21}(2) & \phi_{22}(2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{y,t+1} \\ \varepsilon_{z,t+1} \end{bmatrix} \quad (31)$$

e

$$\begin{aligned} y_{t+3} - Ey_{t+3} &= \phi_{11}(0)\varepsilon_{y,t+3} + \phi_{11}(1)\varepsilon_{y,t+2} + \phi_{11}(2)\varepsilon_{y,t+1} + \\ &+ \phi_{12}(0)\varepsilon_{z,t+3} + \phi_{12}(1)\varepsilon_{z,t+2} + \phi_{12}(2)\varepsilon_{z,t+1} \end{aligned} \quad (32)$$

Generalizando:

$$\begin{aligned} y_{t+n} - Ey_{t+n} &= \phi_{11}(0)\varepsilon_{y,t+n} + \phi_{11}(1)\varepsilon_{y,t+n-1} + \dots + \phi_{11}(n-1)\varepsilon_{y,t+1} + \\ &+ \phi_{12}(0)\varepsilon_{z,t+n} + \phi_{12}(1)\varepsilon_{z,t+n-1} + \dots + \phi_{12}(n-1)\varepsilon_{z,t+1} \end{aligned} \quad (33)$$

Denotando a variância do erro de previsão n -passos a frente por $\sigma_y(n)^2$ tem-se:

$$\begin{aligned} \sigma_y(n)^2 &= \sigma_y^2 [\phi_{11}(0)^2 + \phi_{11}(1)^2 + \dots + \phi_{11}(n-1)^2] + \\ &+ \sigma_z^2 [\phi_{12}(0)^2 + \phi_{12}(1)^2 + \dots + \phi_{12}(n-1)^2] \end{aligned} \quad (34)$$

A decomposição da variância do erro de previsão pode ser representada por:

$$\frac{\sigma_y^2 [\phi_{11}(0)^2 + \phi_{11}(1)^2 + \dots + \phi_{11}(n-1)^2]}{\sigma_y(n)^2} \quad (35)$$

$$\frac{\sigma_z^2 [\phi_{12}(0)^2 + \phi_{12}(1)^2 + \dots + \phi_{12}(n-1)^2]}{\sigma_y(n)^2} \quad (36)$$

É possível escrever os erros de previsão em termos dos choques ε_{yt} e ε_{zt} do modelo estrutural. A decomposição da variância dos erros de previsão indica a proporção do movimento de uma variável devida a um choque nela própria *versus* choques em outras variáveis do sistema. Se os choques ε_{zt} não explicam nenhuma

parcela da variância do erro de previsão de $\{y_t\}$ ao longo de todo o período de previsão, conclui-se que a variável $\{y_t\}$ é exógena. Em tal circunstância, a sequência $\{y_t\}$ se desenvolve independentemente dos choques ε_{zt} e da sequência $\{z_t\}$. Por outro lado, se os choques ε_{zt} podem explicar toda a variância do erro de previsão da sequência $\{y_t\}$ ao longo de todo o horizonte de previsão, então $\{y_t\}$ é endógeno. É comum que no curto prazo uma variável explique grande parte da variância do seu próprio erro de previsão e essa proporção se reduza num horizonte de previsão maior (Bacchi, 2009).

3.1.6 Decomposição histórica do erro de previsão (DHEP)

A decomposição histórica do erro de previsão (DHEP) é baseada na seguinte repartição da média móvel:

$$\mathbf{y}_{T+j} = \sum_{s=0}^{j-1} \Psi_s \mathbf{u}_{T+j-s} + \left[\mathbf{X}_{T+j} \beta + \sum_{s=j}^{\infty} \Psi_s \mathbf{u}_{T+j-s} \right] \quad (37)$$

A primeira soma representa a parte de $\mathbf{y}_{T+j}$ que é devida a inovações nos períodos $T+1$ a $T+j$. A segunda soma é a previsão de $\mathbf{y}_{T+j}$ baseada na informação disponível até o período T (RATS USER'S GUIDE, 2007).

Se $\mathbf{u}$ tem N componentes, a decomposição histórica de $\mathbf{y}_{T+j}$ tem $N+1$ partes:

- A previsão de $\mathbf{y}_{T+j}$ baseada na informação no período T (o termo entre colchetes).
- Para cada um dos N componentes de $\mathbf{u}$, a parte do primeiro termo que é devida à trajetória temporal daquele componente.

3.2 Modelo proposto

A metodologia de Auto-Regressão Vetorial requer, conforme já mencionado anteriormente, o desenvolvimento de um modelo teórico que conduza a hipóteses que auxiliem a definir as restrições a serem impostas na matriz de relações contemporâneas entre as variáveis do sistema, de forma a se obter identificação do modelo estrutural a partir do ajustamento do modelo na forma reduzida. Essas hipóteses são descritas a seguir.

Visando uma simplificação do modelo, por problemas associados a graus de liberdade, não foi considerado o mercado atacadista para a comercialização do etanol hidratado combustível. Assim, na presente análise, considera-se apenas a existência de dois segmentos deste mercado: o varejista e o produtor. Também visando uma simplificação do estudo, não se considerou no modelo o preço da gasolina A, utilizada na composição da gasolina C. Ainda neste sentido, para evitar o problema de multicolinearidade, o preço do etanol anidro ao produtor pode ser considerado como variável *proxy* para o preço do etanol hidratado neste segmento de mercado.

A matriz de relações contemporâneas deste estudo é formada por nove equações, apresentadas a seguir. A base dessa matriz é constituída pelas funções de demanda e oferta de etanol hidratado e demanda de gasolina C (equações 1, 2 e 3 desta seção). Adicionalmente, considerou-se a influência do preço do açúcar no mercado doméstico sobre o preço de etanol anidro ao produtor (equação 5). As quantidades comercializadas de açúcar no mercado interno são influenciadas pelos preços no mercado doméstico e internacional (equação 6), sendo que o primeiro preço é impactado pelo segundo (equação 7). Finalmente, foram consideradas como variáveis exógenas o preço da gasolina C no varejo (equação 4), o preço do açúcar no mercado internacional (equação 8) e a renda (equação 9). Procedimento semelhante foi adotado por Bacchi (2009), que analisou a inter-relação dos mercados de etanol e gasolina C sem considerar, no entanto, as influências do mercado de açúcar.

1) *Equação de demanda de etanol hidratado no varejo*

$$qehv_t = \alpha_0 + \alpha_1 pehv_t + \alpha_2 pgcv_t + \alpha_3 y_t + \varepsilon_{1t}$$

onde:

$qehv_t$ é a quantidade comercializada de etanol hidratado no varejo;

$pehv_t$ é o preço do etanol hidratado combustível no varejo;

$pgcv_t$ é o preço da gasolina C no varejo; e

y_t é a renda interna.

2) *Equação de oferta de etanol hidratado combustível no varejo*

$$qehv_t = \beta_0 + \beta_1 pehv_t + \beta_2 peap_t + \varepsilon_{2t}$$

com:

$peap_t$ sendo o preço do etanol anidro ao produtor.

3) *Equação de demanda de gasolina C no varejo*

$$qgcv_t = \delta_0 + \delta_1 pehv_t + \delta_2 pgcv_t + \delta_3 y_t + \varepsilon_{3t}$$

onde:

$qgcv_t$ é a quantidade comercializada de gasolina C no varejo

4) *Equação de preço da gasolina C no varejo*

$$pgcv_t = \varepsilon_{4t}$$

5) *Equação de preço do etanol anidro ao produtor*

$$peap_t = \varphi_0 + \varphi_1 pacd_t + \varepsilon_{5t}$$

onde:

$pacd$ é o preço doméstico do açúcar ao produtor

6) *Equação de comercialização de açúcar no mercado interno*

$$qacd_t = \theta_0 + \theta_1 pacd_t + \theta_2 paci_t + \varepsilon_{6t}$$

onde:

$qacd$ é a quantidade comercializada de açúcar no mercado interno

$paci$ é o preço do açúcar no mercado internacional

7) *Equação de preço doméstico do açúcar ao produtor*

$$pacd_t = \gamma_1 paci_t + \varepsilon_{7t}$$

8) *Equação de preço do açúcar no mercado internacional*

$$paci_t = \varepsilon_{8t}$$

9) *Equação de renda*

$$y_t = \varepsilon_{9t}$$

A Tabela 6 apresenta a matriz de relações contemporâneas, fundamentada nas nove equações definidas. Os sinais esperados para as estimativas dos parâmetros encontram-se entre parênteses.

Com relação às equações de demanda de combustíveis (equações 1 e 3), a renda deve afetar positivamente as quantidades demandadas de etanol hidratado combustível e de gasolina C; a elasticidade-preço direta de cada combustível deve ter sinal negativo; e a elasticidade cruzada com o preço do combustível substituto deve ter sinal positivo.

Na função de oferta de etanol hidratado (equação 2), definida na forma p -dependente, espera-se sinal positivo para tanto para a quantidade comercializada do

combustível quanto para seu preço no segmento produtor, uma vez que, conforme definido anteriormente, o preço do etanol anidro ao produtor é variável *proxy* do preço do etanol hidratado neste segmento.

O preço do açúcar no mercado interno influencia positivamente o preço do etanol anidro ao produtor, uma vez que estes produtos concorrem pela mesma matéria-prima nas unidades tradicionais de processamento industrial (equação 5).

Os preços do açúcar no mercado doméstico e internacional afetam negativamente as quantidades comercializadas de açúcar no mercado interno (equação 6). Finalmente, o preço do açúcar no mercado internacional tem impacto positivo sobre o preço do produto no mercado doméstico (equação 7).

Tabela 6 – Matriz de relações contemporâneas do modelo especificado

	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>renda</i>
Eq. 1 <i>qehv</i>	1	1(-)	0	1(+)	0	0	0	0	1(+)
Eq. 2 <i>pehv</i>	1(+)	1	0	0	1(+)	0	0	0	0
Eq. 3 <i>qgcv</i>	0	1(+)	1	1(-)	0	0	0	0	1(+)
Eq. 4 <i>pgcv</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Eq. 5 <i>peap</i>	0	0	0	0	1	0	1(+)	0	0
Eq. 6 <i>qacd</i>	0	0	0	0	0	1	1(-)	1(-)	0
Eq. 7 <i>pacd</i>	0	0	0	0	0	0	1	1(+)	0
Eq. 8 <i>paci</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Eq. 9 <i>renda</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3 Fontes dos dados

Para se alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas as séries divulgadas pelo CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/ESALQ/USP para os preços de etanol anidro e açúcar no segmento produtor do Estado de São Paulo. Para preços e quantidades comercializadas de gasolina C e de etanol hidratado combustível no varejo do Estado de São Paulo foram utilizadas as séries da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Para o

preço do açúcar no mercado internacional foi utilizado o primeiro vencimento do contrato futuro de açúcar sob número 11, negociado na Nybot (*New York Board of Trade*), sendo esta série transformada em reais através da série de câmbio (R\$/US\$) disponibilizada pelo BACEN – Banco Central do Brasil. As séries de preços em termos nominais foram deflacionadas utilizando-se o IGP – Disponibilidade Interna divulgado pela Fundação Getúlio Vargas.

Para a quantidade comercializada de açúcar no Estado de São Paulo, utilizou-se a série de produção anual com dados da UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar e CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, a qual foi subtraída das exportações do Estado, a partir dos dados disponibilizados pela SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. Esta diferença foi transformada em uma série mensal a partir das curvas de comercialização calculadas pelo CEPEA/ESALQ/USP.

A renda interna foi representada pelo índice de salário real da indústria no Estado de São Paulo, elaborado pela FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Levantamento de Conjuntura), série disponibilizada pelo IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

As nove séries utilizadas nesta análise são apresentadas de forma gráfica no APÊNDICE A.

Para o ajustamento do modelo, as séries foram transformadas em logaritmo, de forma que as relações entre as variáveis podem ser interpretadas como elasticidades. Os procedimentos econométricos foram realizados utilizando-se o *software Regression Analysis of Time Series* – RATS (v. 6.20), e também o seu complemento *Cointegration Analysis of Time Series* – CATS. O período considerado na análise abrange dados mensais de 10 safras canavieiras, de maio de 2001 a março de 2011, totalizando 119 observações².

² O ano-safra da cultura canavieira na Região Centro-Sul do Brasil era definido de maio a abril até 2005. A partir deste ano, estabeleceu-se o ano-safra com início em abril e término em março.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de estacionaridade

Para verificar a estacionaridade das séries, foi utilizado o procedimento proposto por Elliot, Rothenberg e Stock (1996), também conhecido por *Dickey-Fuller Generalized Least Square* ou DF–GLS. Para cada uma delas, foram testadas duas versões do modelo: uma com constante e tendência – Modelo 1, e outra com constante apenas – Modelo 2. O número de defasagens p utilizado no teste de raiz unitária foi determinado através do Critério de Informação de Akaike Modificado – MAIC.

Os resultados apresentados na Tabela 7 levam à conclusão de que todas as séries utilizadas para a estimativa do modelo são integradas de ordem um – $I(1)$, com exceção do preço de etanol anidro ao produtor no modelo no qual se utilizou o filtro com constante apenas. No entanto, como no modelo com filtro incluindo também a tendência não se pode rejeitar a hipótese nula de raiz unitária ao nível de 1% de significância, a série foi considerada $I(1)$. Como consequência, o modelo VAR foi estimado com as variáveis em suas primeiras diferenças.

Tabela 7 – Resultados dos testes de raiz unitária (DF-GLS)

Variável	Modelo 1		Modelo 2	
	p	Estatística DF-GLS	p	Estatística DF-GLS
<i>qehv</i>	11	-0,962	11	0,565
<i>pehv</i>	7	-1,955	0	-1,841
<i>qgcv</i>	11	-0,573	11	-0,540
<i>pgcv</i>	12	-2,498	8	0,241
<i>peap</i>	2	-2,757	2	-2,569
<i>qacd</i>	9	-1,603	10	-1,129
<i>pacd</i>	2	-2,198	0	-1,748
<i>paci</i>	1	-2,351	0	-1,446
<i>renda</i>	11	-1,148	11	-0,223

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: Modelo 1 - na versão com constante e tendência (valores críticos em Elliot, Rothenberg e Stock (1996): 5% = -2,89; 1% = -3,48. Modelo 2 - na versão com constante apenas (valores críticos em Dickey e Fuller (1979; 1981): 5% = -1,95; 1% = -2,58.

4.2 Teste de cointegração

Para testar e estimar as relações de longo prazo entre as variáveis foi utilizado o teste de Johansen (1988). Diante do contexto multivariado da análise e da possibilidade de identificação de mais de um vetor de cointegração, este procedimento é o mais adequado.

Os modelos foram ajustados com *drift*, o que é recomendado quando pelo menos uma das séries exibe tendência determinista no tempo. Os resultados indicam que, considerando-se o nível de significância de 1%, existem seis vetores de cointegração (Tabela 8), o que mostra a necessidade de se utilizar o Modelo de Auto-regressão Vetorial com Correção de Erro – VEC para a análise proposta neste estudo.

Tabela 8 – Resultados dos testes de cointegração de Johansen

Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	$\lambda_{traço}$	Valor-P
$h = 0$	$h > 0$	430,234	0,000
$h \leq 1$	$h > 1$	321,521	0,000
$h \leq 2$	$h > 2$	223,918	0,000
$h \leq 3$	$h > 3$	160,228	0,000
$h \leq 4$	$h > 4$	108,263	0,000
$h \leq 5$	$h > 5$	59,384	0,003
$h \leq 6$	$h > 6$	20,577	0,411
$h \leq 7$	$h > 7$	7,242	0,556
$h \leq 8$	$h > 8$	2,721	0,099

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3 Resultados do ajustamento do modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro – VEC

4.3.1 Inclusão de termos deterministas

Visando melhorar o ajustamento do modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro, foram incluídos três termos deterministas. Primeiramente, para ajudar a explicar o aumento acentuado das vendas de etanol hidratado combustível a partir de janeiro de 2005, foi incluída uma variável binária com valor um a partir deste mês, e zero para os meses anteriores. Como os dados são utilizados nas

diferenças dos valores observados, a inclusão dessa variável é pertinente se for considerado que, a partir de janeiro de 2005, as vendas de etanol hidratado apresentam uma tendência crescente com comportamento quadrático.

Além disso, foi incluída uma variável com as vendas de veículos e comerciais leves que podem ser abastecidos com etanol (somatória das vendas de veículos *flex* com as vendas de veículos movidos exclusivamente a etanol). Esta série está representada na Figura 23, assim como as vendas totais, contemplando veículos que utilizam qualquer tipo de combustível. A diferença entre as duas linhas, decrescente ao longo do tempo, representa a comercialização de veículos movidos a gasolina ou a diesel.

Figura 23 – Vendas de veículos e comerciais leves no mercado interno

Fonte: Anfavea (2012).

Foi incluída ainda uma binária representando a vantagem econômica da escolha, por parte dos consumidores, de combustível fóssil ou renovável na hora do abastecimento. Para tanto, dividiu-se o preço do etanol hidratado pelo preço da gasolina C em cada mês, estabelecendo-se valor um quando esta relação é superior a 0,7, e valor zero para as demais observações. Embora esta relação de preços só tenha ultrapassado o valor de paridade de preços dos combustíveis (baseado nos

diferenciais de rendimento energético) em 6 ocasiões durante o período analisado (mar/06, abr/06, jan/10, fev/10, fev/11 e mar/11), a inclusão desta binária melhorou significativamente o ajustamento do modelo. O controle feito com a inclusão dessa variável no modelo faz com que ele represente, no que diz respeito às elasticidades-preço cruzadas, momentos nos quais a economicidade do abastecimento é favorável ao etanol.

4.3.2 Relações contemporâneas

A princípio, estimou-se um modelo que incluía na matriz de relações contemporâneas, juntamente com a oferta e demanda de etanol e demanda de gasolina C, a função de oferta de gasolina C. Neste modelo, considerou-se que a quantidade ofertada é dependente do próprio preço e do preço do etanol anidro ao produtor (componente da gasolina C, representando custos). Este modelo, porém, somente apresentou convergência após um grande número de iterações e, como resultado, surgiram elasticidades pouco condizentes com a realidade. Por esse motivo, optou-se por utilizar um modelo no qual o preço da gasolina C é incluído como uma variável exógena. Na verdade, como esse preço é definido sob influência de política de controle, essa pressuposição parece ser plausível.

Também, a princípio, a variável preço de açúcar ao mercado doméstico foi incluída na função de oferta de etanol hidratado combustível ao varejo. Os resultados, no entanto, indicaram que não havia relação contemporânea significativa, o que resultou em sua exclusão no ajustamento do modelo final. A explicação para isso é o fato de que são dois níveis diferentes de mercado – enquanto a série de preço do etanol hidratado refere-se ao segmento varejista, o preço para o açúcar no mercado doméstico é o recebido pelo produtor.

É importante mencionar que, mesmo que a relação entre duas variáveis não seja considerada na matriz de relações contemporâneas, ela pode ser avaliada quando se utiliza a metodologia de Auto-Regressão Vetorial através das funções de respostas a impulso, as quais permitem captar os efeitos de choques em cada uma das variáveis do sistema sobre todas as demais.

O modelo foi ajustado com uma defasagem, fundamentando-se nos resultados obtidos para os critérios de AIC e SC na versão multi-equacional. As estimativas para as relações contemporâneas entre as variáveis estão apresentadas

no Quadro 1. Observa-se que todos os parâmetros estimados apresentam os sinais esperados, com exceção para a equação de comercialização de açúcar no mercado doméstico, cujas estimativas foram não significativas.

1) Equação de demanda de etanol hidratado no varejo

$$qehv_t = -0,932 * pehv_t + 1,168^{**} pgcv_t + 0,551^{**} y_t + \varepsilon_{1t}$$

2) Equação de oferta de etanol hidratado no varejo

$$pehv_t = 0,000 qehv_t + 0,358 * peap_t + \varepsilon_{2t}$$

3) Equação de demanda de gasolina C no varejo

$$qgcv_t = -0,151 pgcv_t + 0,073 pehv_t + 0,443^{**} y_t + \varepsilon_{3t}$$

4) Equação de preço da gasolina C no varejo

$$pgcv_t = \varepsilon_{4t}$$

5) Equação de preço de etanol anidro ao produtor

$$peap_t = 0,458 * pacd_t + \varepsilon_{5t}$$

6) Equação de comercialização de açúcar no mercado interno

$$qacd_t = 0,242 pacd_t + 0,048 paci_t + \varepsilon_{6t}$$

7) Equação de preço doméstico do açúcar ao produtor

$$pacd_t = 0,390 paci_t + \varepsilon_{7t}$$

8) Equação de preço do açúcar no mercado internacional

$$paci_t = \varepsilon_{8t}$$

9) Equação de renda

$$y_t = \varepsilon_{9t}$$

Quadro 1 – Resultados dos coeficientes estimados pela matriz de relações contemporâneas

Fonte: Resultados da pesquisa.

* Coeficientes significativos a 1% de probabilidade.

** Coeficientes significativos a 5% de probabilidade.

Nota: $qehv$ = quantidade comercializada de etanol hidratado no varejo; $pehv$ = preço do etanol hidratado combustível no varejo; $qgcv$ = quantidade comercializada de gasolina C no varejo; $pgcv$ = preço da gasolina C no varejo; $peap$ = preço do etanol anidro ao produtor; $qacd$ = quantidade comercializada de açúcar no mercado interno; $pacd$ = preço doméstico do açúcar ao produtor; $paci$ = preço do açúcar no mercado internacional; e y = renda interna

Vale lembrar que a estatística t , no caso do uso do modelo VEC sobre identificado, não tem o mesmo rigor que o observado nos casos de modelo estimados por Mínimos Quadrados Ordinários. Apesar disso, pode-se fazer alguma inferência sobre a significância estatística das estimativas e, por isso, ela foi apresentada no Quadro 1.

Na função de demanda de etanol hidratado, todas as estimativas dos parâmetros mostraram-se estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade. A magnitude da estimativa do parâmetro relativo ao preço da gasolina C indica que o consumo de etanol responde de forma expressiva a variações contemporâneas no preço do produto substituto nesse segmento de mercado. Uma variação de 1% no preço da gasolina C no varejo causa um impacto de aproximadamente 1,2% na venda de etanol hidratado. A venda de etanol hidratado no varejo sofre efeito expressivo também do próprio preço – elasticidade negativa de 0,932, e da renda – elasticidade positiva de 0,551. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Bacchi (2009).

Na função de oferta de etanol hidratado no varejo, apenas a estimativa do parâmetro do preço de etanol anidro ao produtor mostrou-se estatisticamente significativa, sendo que um choque de 1% nesta variável impacta o preço do etanol hidratado no varejo em aproximadamente 0,4%. Vale lembrar que o preço do etanol anidro ao produtor foi utilizado como *proxy* do preço do etanol hidratado ao produtor e, assim, a referida elasticidade representa o repasse do choque de preços entre os dois segmentos de mercado.

Analisando os coeficientes estimados para a função de demanda de gasolina C, verifica-se que variações no preço de etanol pouco impactam a venda do combustível fóssil (uma variação de 1% no preço do etanol causa um impacto de 0,073% na venda da gasolina C). O efeito do próprio preço também se mostrou baixo – elasticidade negativa de 0,151, reforçando o fato de que a demanda de gasolina é inelástica ao preço. Vale lembrar que os coeficientes tanto do preço da gasolina C como do etanol hidratado apresentaram-se não significativos estatisticamente. Já a estimativa do parâmetro referente à renda mostrou-se estatisticamente significativa na função demanda de gasolina C, sendo que uma variação de 1% na renda causa uma variação contemporânea de 0,443% na quantidade comercializada de gasolina C no varejo. Portanto, assim como a demanda por etanol hidratado combustível, a demanda por gasolina C também se

mostrou inelástica ao próprio preço e à renda, no que diz respeito às relações contemporâneas.

Foi testado, a princípio, o efeito contemporâneo de uma variação no preço do etanol anidro combustível ao produtor sobre o preço de gasolina C no varejo. O resultado, porém, foi pequeno e não significativo, o que já era esperado, mediante a pequena representatividade do preço do etanol anidro ao produtor no preço da gasolina C no varejo, decorrente do percentual máximo de 25% de etanol anidro que se utiliza na mistura. Assim, optou-se por retirar essa variável da equação de preço da gasolina no ajustamento final, visando a obtenção de um modelo mais parcimonioso.

Na equação de preço de etanol anidro no segmento produtor, observa-se que a estimativa do parâmetro referente ao preço do açúcar no mesmo segmento é estatisticamente significativa. A elasticidade de transmissão contemporânea de um choque de preço é de magnitude 0,458.

Os parâmetros estimados na equação de produção de açúcar não se mostraram significativos. A magnitude das relações contemporâneas sugere que o preço doméstico tem maior influência sobre a produção do que o preço internacional (elasticidades de 0,242 e 0,048, respectivamente). No entanto, sabe-se que o preço doméstico já tem internalizado em seu valor os efeitos no mercado internacional, como se observa na equação de preço de açúcar no mercado doméstico. A elasticidade de transmissão contemporânea entre os preços nesses mercados é de 0,39, sendo esta estimativa estatisticamente significativa ao nível de 1% de probabilidade. Era de se esperar resultados mais representativos do preço internacional sobre o preço do mercado doméstico do que sobre a produção. O simples fato de poder ocorrer arbitragem entre dois mercados, não sendo necessário que ela ocorra, já é suficiente para que haja impacto sobre preço.

Assim como o preço da gasolina C, a renda e o preço de açúcar no mercado internacional foram incluídos no modelo como variáveis exógenas. Os resultados referentes à decomposição da variância do erro de previsão, apresentados ao final desta seção, corroboram a exogeneidade dessas variáveis.

4.3.3 Elasticidades acumuladas e funções de respostas a impulso

Uma análise limitada apenas às relações contemporâneas pode facilmente subestimar o impacto de um choque não antecipado em uma variável sobre as demais variáveis do modelo. Nesse sentido, é interessante analisar-se, também, as elasticidades acumuladas, como as apresentadas na Tabela 9. Nela, optou-se por acumular os três primeiros valores de cada função de respostas a impulso, sendo que os efeitos de um choque em cada variável do sistema sobre as demais podem ser avaliados na coluna correspondente à variável cujo choque está sendo analisado.

Tabela 9 – Elasticidades acumuladas nos três primeiros meses após o choque

	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
<i>qehv</i>	0,87	-0,81	-0,25	0,54	-0,38	-0,02	-0,13	-0,20	0,95
<i>pehv</i>	0,11	0,82	0,03	-0,15	0,60	-0,02	0,33	0,23	0,20
<i>qgcv</i>	-0,02	0,31	0,78	-0,20	-0,04	-0,04	-0,05	-0,21	0,76
<i>pgcv</i>	0,03	0,01	0,00	1,14	0,06	-0,01	0,00	0,00	0,07
<i>peap</i>	0,13	-0,71	0,13	0,15	1,42	-0,11	0,57	0,14	0,42
<i>qacd</i>	-0,09	0,21	0,00	-0,54	-0,20	0,87	-0,04	-0,18	0,17
<i>pacd</i>	-0,02	-0,01	-0,02	0,63	-0,37	0,07	0,90	0,85	0,04
<i>paci</i>	-0,02	0,27	-0,03	0,62	-0,09	-0,06	-0,25	1,46	-0,11
<i>y</i>	0,02	0,06	-0,06	-0,09	-0,08	-0,02	-0,02	-0,05	0,98

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que, para o caso de um choque positivo na renda, os efeitos acumulados sobre as vendas de etanol hidratado combustível e gasolina C no varejo somam 0,95 e 0,76, respectivamente.

Considerando os efeitos acumulados sobre o preço de etanol hidratado no varejo, observa-se que um choque nas suas vendas tem efeito positivo, mas de pequena magnitude (0,11). Já um choque positivo no preço do combustível renovável no varejo tem efeito negativo e expressivo sobre o seu consumo (-0,81), e positivo, mas de menor magnitude (0,31) sobre as vendas de gasolina C.

A análise das elasticidades acumuladas também permite observar melhor as relações entre os mercados de etanol e açúcar, as quais são subestimadas pela avaliação somente das relações contemporâneas. Um choque exógeno de 1% no

preço internacional do açúcar resulta em um efeito acumulado de 0,85% no preço do produto no mercado doméstico. E, havendo um choque não antecipado no preço doméstico do açúcar, observa-se que 57% deste choque é repassado ao preço do etanol anidro. Como este preço, por sua vez, representa uma variável *proxy* para o preço do etanol hidratado no segmento produtor, pode-se afirmar que 60% das variações de preço neste segmento são repassadas ao preço do combustível no mercado varejista.

Os efeitos de choques exógenos em uma determinada variável, acumuladas mês a mês, podem também ser representados de maneira gráfica nas funções de respostas a impulso. De maneira geral, a análise dessas funções, apresentada a seguir, permite verificar que os efeitos dos choques não antecipados sobre as variáveis do modelo são de curta duração, desaparecendo, na maior parte das vezes, após o terceiro mês. Por esse motivo, optou-se por tomar as elasticidades acumuladas em três meses na Tabela 9.

A Figura 24 apresenta as respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na venda de etanol hidratado combustível no varejo. Observa-se que um choque não antecipado na venda do combustível renovável tem impacto praticamente nulo sobre a venda de gasolina C e positivo, mas de pequena magnitude, sobre o próprio preço, provavelmente devido ao aumento do preço do etanol anidro no segmento produtor (*proxy* do preço do etanol hidratado combustível nesse segmento de mercado). Conforme salienta Bacchi (2009), essa variação do preço do etanol anidro combustível no segmento produtor é decorrente das maiores ou menores compras do segmento à jusante, visando o ajustamento dos estoques.

Figura 24 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na venda de etanol hidratado combustível no varejo

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 25 apresenta as respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque exógeno no preço do etanol hidratado no varejo. Havendo um aumento no preço desse combustível, observa-se uma queda nas vendas, caindo também a sua demanda no segmento produtor, com consequente queda de preços. Nota-se, também, uma queda no preço do etanol anidro no seguimento produtor, variável *proxy* do preço do etanol hidratado nesse nível de mercado. Observa-se, ainda, um aumento na venda de gasolina C, representando o efeito substituição entre os combustíveis fóssil e renovável. Esse efeito é, no entanto, de pequena magnitude (atingindo 0,31% considerando o efeito acumulado em três meses) e deve corresponder à mudança no uso de combustível por parte de alguns proprietários de veículos *flex-fuel* em patamar abaixo do índice energético tomado como referência (70%).

Figura 25 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do etanol hidratado no varejo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Um aumento não antecipado na venda de gasolina C no varejo resulta em uma queda na venda de etanol hidratado neste segmento, o que já era esperado devido ao efeito de substituição entre os dois combustíveis. O preço do etanol anidro ao produtor aumenta, mas de forma pouco expressiva. Já os preços da gasolina C e do etanol hidratado no varejo praticamente não se alteram (Figura 26).

Figura 26 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na venda de gasolina C no varejo

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 27 apresenta as respostas acumuladas de variáveis selecionadas do modelo a um aumento no preço da gasolina C no varejo. Observa-se um aumento expressivo sobre as vendas de etanol hidratado combustível e uma queda bem menos acentuada sobre as vendas de gasolina C. Em função do efeito contrário sobre as vendas de etanol hidratado combustível e de gasolina C no varejo, observa-se apenas uma pequena variação no preço do etanol anidro no segmento produtor, pois parte dos efeitos se cancela. Também o preço do etanol hidratado combustível no varejo varia pouco em função de um choque não antecipado no preço da gasolina C nesse segmento de mercado.

Figura 27 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço da gasolina C no varejo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Figura 28, é possível observar que um aumento exógeno no preço do etanol anidro ao produtor leva a um aumento expressivo no preço do etanol hidratado combustível no varejo. O impacto sob o preço da gasolina C é pouco expressivo, devido à baixa representatividade do preço do etanol anidro em sua composição, como já discutido. Com as quantidades vendidas, o impacto maior também é na venda de etanol hidratado, enquanto o consumo de gasolina C pouco se altera.

Figura 28 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do etanol anidro ao produtor

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Figura 29, é possível observar que um aumento exógeno no preço do açúcar ao produtor leva a um aumento expressivo no preço do etanol anidro no mesmo segmento, o que pode ser explicado pela existência de certa flexibilidade das usinas com destilaria anexa em produzir açúcar ou etanol, dependendo da relação de preços desses produtos. O preço do etanol hidratado ao varejo também acompanha o crescimento dos preços, mas de forma menos expressiva.

Figura 29 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado no preço do açúcar ao produtor

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 30 mostra o efeito de um aumento na renda da população nas variáveis analisadas no modelo. Observa-se um crescimento nas vendas dos dois combustíveis no segmento varejista, sendo que o crescimento no mercado de etanol hidratado é maior do que no da gasolina C. É interessante observar que os maiores efeitos de uma variação não antecipada na renda da população sobre as vendas de combustíveis no varejo ocorrem no mês seguinte ao choque. De acordo com Bacchi (2009), é no mês seguinte que os consumidores têm disponíveis os salários referentes ao mês em que ocorreu o aumento para poderem efetuar as aquisições de bens e serviços. O aumento na renda causa elevação de todos os preços, tanto no segmento produtor quanto no varejista, sendo que a elevação do preço da gasolina C, controlado pelo governo, é bem menos expressiva.

Figura 30 – Respostas acumuladas das variáveis do modelo a um choque não antecipado na renda

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3.4 Decomposição da variância do erro de previsão

As Figuras 31 a 39 apresentam a decomposição das variâncias do erro de previsão das nove variáveis incluídas no modelo, 6 meses à frente de um choque não antecipado. As legendas estão em ordem decrescente de acordo com a importância de cada variável em explicar as variações na série que sofreu o choque.

É possível verificar nos gráficos de área que as variáveis que possuem comportamento mais independente relativamente ao das demais são preço do açúcar no mercado internacional (Figura 38), preço da gasolina C no varejo (Figura 34), comercialização de açúcar (Figura 36) e renda (Figura 39). Para essas

variáveis, de 90 a 95% da variância do erro de previsão são explicadas pelas próprias séries.

Os principais determinantes da venda de etanol hidratado no varejo são a renda, explicando pouco mais de 10% da variância do erro de previsão daquela série, o preço do etanol hidratado combustível no varejo (6,2%) e o do etanol anidro no segmento produto (5,6%). Já com relação às vendas de gasolina C no varejo, o principal determinante é a renda (10,9%), enquanto as demais variáveis pouco contribuem para explicar suas variações (Figura 31).

A variável que tem maior impacto sobre o preço do etanol hidratado combustível no varejo é o preço do etanol anidro, variável *proxy* do preço do etanol hidratado no segmento produtor, explicando aproximadamente 42,5% da variância do erro de previsão daquela variável no sexto mês após o choque. A segunda variável em importância explicativa das variações no preço do etanol hidratado no varejo é a própria variável (36,7%), seguida pelo preço do açúcar no mercado doméstico (8,1%) (Figura 32).

Figura 31 – Decomposição da variância dos erros de previsão das vendas de etanol hidratado no varejo – *qehv*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 32 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do etanol hidratado no varejo – *pehv*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 33 – Decomposição da variância dos erros de previsão das vendas de gasolina C no varejo – *qgcv*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 34 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço da gasolina C no varejo – *pgcv*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 35 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do etanol anidro ao produtor – *peap*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 36 – Decomposição da variância dos erros de previsão da comercialização de açúcar – $qacd$

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 37 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do açúcar no mercado doméstico – $pacd$

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 38 – Decomposição da variância dos erros de previsão do preço do açúcar no mercado internacional – *paci*

Fonte: Resultados da pesquisa.

Figura 39 – Decomposição da variância dos erros de previsão da renda interna – *y*

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3.5 Decomposição histórica do erro de previsão (DHEP) do preço do etanol hidratado ao varejo

De acordo com Lima (1997), a decomposição histórica do erro de previsão (DHEP) permite obter a importância de cada tipo de choque exógeno ocorrido no passado na explicação dos desvios dos valores observados da variável de interesse, em relação à sua previsão realizada no início do período considerado. Neste trabalho, foi realizada a DHEP para o período de agosto de 2007 a março de 2011, utilizando-se dados de maio de 2001 até julho de 2007 e os parâmetros estimados para toda a amostra. No período escolhido para a DHEP, foram feitas previsões para o preço do etanol hidratado ao varejo. Estas previsões, quando comparadas com os valores observados, geraram erros de previsão, os quais foram decompostos nos percentuais atribuíveis a cada choque.

A análise da DEHP, representada graficamente na Figura 40, permite concluir que os desvios dos valores observados, em relação aos previstos, estão associados principalmente aos choques exógenos no próprio preço do etanol hidratado ao varejo e também ao preço do etanol anidro ao produtor, *proxy* do preço do etanol hidratado nesse segmento de mercado. Pode-se observar que os choques não antecipados nas demais variáveis incluídas no modelo pouco contribuem para os erros de previsão do preço do etanol hidratado no varejo (menos de 5%).

Figura 40 – Decomposição histórica do erro de previsão

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 41 apresenta a distribuição acumulada dos erros de previsão do modelo de especificação do preço do etanol hidratado no varejo. Observa-se que erros de previsão são de, no máximo, 23,8%. Em outras palavras, os fundamentos de mercado, isto é, as variáveis explicativas consideradas neste trabalho, exceto a própria variável de interesse, explicam pelo menos 76,2% das variações do preço do etanol hidratado no varejo. Em 80% dos casos, os fundamentos explicam pelo menos 82% das variações do preço do combustível renovável.

Figura 41 – Distribuição acumulada dos erros de previsão do modelo de especificação do preço do etanol hidratado no varejo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Figura 42 a seguir compara-se a série de preços do etanol hidratado no segmento varejista com a previsão dentro da amostra realizada pelo modelo. Pode-se observar que os valores previstos acompanham razoavelmente bem as oscilações nos valores efetivamente observados para o preço do combustível. No entanto, a partir da safra 2009/10, as previsões para o preço do etanol hidratado ao consumidor se estabelecem em um patamar mais elevado.

Figura 42 – Série de preços do etanol hidratado no varejo e suas previsões baseadas no conjunto de variáveis explicativas do modelo

Fonte: Resultados da pesquisa.

A previsão dentro da amostra para o preço do etanol hidratado a partir do modelo estimado sugere que, nas últimas duas safras do período estudado, o preço efetivamente praticado está, em média, 23,7% abaixo do previsto pelos fundamentos de mercado. Provavelmente, esse resultado é devido à adoção da política de controle de preços da gasolina C no Brasil, a qual evita o repasse das oscilações do preço internacional do petróleo aos preços dos seus derivados vendidos no mercado interno (em especial, gasolina, óleo diesel e querosene de aviação), com o objetivo principal de manter os índices de inflação dentro da meta estabelecida pelo Banco Central.

De fato, ao analisarmos a evolução dos preços nominais médios ao consumidor no Estado de São Paulo (Figura 43), fica evidente a grande volatilidade do preço do etanol, enquanto que o preço da gasolina C encontra-se praticamente estável desde 2006. Cabe lembrar que, quando o preço do etanol hidratado ultrapassa o nível de 70% do preço da gasolina C, o consumidor, em geral, opta pelo abastecimento dos veículos *flex-fuel* com o combustível fóssil. Assim, o nível de preço da gasolina acaba sendo um “teto” para o preço do combustível renovável,

uma vez que, acima deste, a sua demanda cai significativamente. Ao longo do período da análise, observa-se uma leve tendência de crescimento da relação preço do etanol hidratado/preço da gasolina C no Estado de São Paulo (Figura 44). Enquanto o valor médio desta relação até a safra 2008/09 foi de 54%, nas safras 2009/10 e 2010/11, este valor foi de 61,4%, atingindo 79,3% em março de 2011.

Figura 43 – Evolução dos preços nominais médios ao consumidor do etanol hidratado e da gasolina C no Estado de São Paulo, jul/2001 – mar/2011

Fonte: ANP (2011).

Figura 44 – Evolução da relação entre os preços nominais médios ao consumidor do etanol hidratado e da gasolina C no Estado de São Paulo, jul/2001 – mar/2011

Fonte: ANP (2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se analisar de forma dinâmica as inter-relações entre os mercados dos dois principais combustíveis que movem a frota brasileira de veículos e comerciais leves – o etanol hidratado e a gasolina, contemplando também a influência do mercado de açúcar, proveniente da mesma matéria-prima utilizada na fabricação do combustível renovável.

Os resultados do procedimento proposto por Elliot, Rothenberg e Stock (1996), também conhecido por *Dickey-Fuller Generalized Least Square* ou DF–GLS indicaram que todas as séries utilizadas para a estimativa do modelo são integradas de ordem um – $I(1)$. Como consequência, o modelo VAR foi estimado com as variáveis em suas primeiras diferenças. Para testar e estimar as relações de longo prazo entre as variáveis foi utilizado o teste de Johansen (1988), o qual indicou a existência de seis vetores de cointegração. Assim, utilizou-se o Modelo de Auto-Regressão Vetorial com Correção de Erro – VEC para a análise proposta neste estudo.

A escolha desta metodologia foi baseada em duas características fundamentais: a) sua capacidade de captar efeitos dinâmicos e, b) mesmo que a relação entre duas variáveis não seja considerada na matriz de relações contemporânea, ela pode ser avaliada quando se utiliza a Auto-Regressão Vetorial através das funções de respostas a impulso. De maneira geral, a análise dessas funções permite verificar que os efeitos dos choques não antecipados sobre as variáveis do modelo são de curta duração, desaparecendo, na maior parte das vezes, após o terceiro mês.

Na função de demanda de etanol hidratado, todas as estimativas dos parâmetros mostraram-se estatisticamente significativas ao nível de pelo menos 5% de probabilidade. O consumo de etanol responde de forma expressiva a variações contemporâneas no próprio preço (elasticidade-preço de -0,932) e no preço da gasolina, produto substituto nesse segmento de mercado (elasticidade-preço cruzada de 1,168). A venda de etanol hidratado no varejo sofre efeito expressivo contemporaneamente também de variações na renda (elasticidade-renda de 0,551).

Já com relação à demanda de gasolina C, verifica-se que as vendas do combustível fóssil respondem menos a preços e à renda. A elasticidade-preço contemporânea estimada foi de -0,151. Variações no preço de etanol também

impactam pouco a venda da gasolina C (elasticidade-preço cruzada contemporânea de 0,073). No entanto, os coeficientes que geraram essas estimativas mostraram-se não significativos estatisticamente, sendo então estimados com baixa precisão. A estimativa do parâmetro referente à renda, a única que se mostrou estatisticamente significativa na função demanda de gasolina C, mostrou que uma variação de 1% na renda causa uma variação contemporânea de 0,443% na quantidade comercializada de gasolina C no varejo. Portanto, na análise das funções de demanda de combustíveis, verificou-se que ambos os produtos estudados são inelásticos ao próprio preço e à renda.

Como as inter-relações entre os diversos mercados analisados podem ser subestimadas em uma avaliação restrita às relações contemporâneas, a análise das elasticidades acumuladas permitiu observar melhor as influências dos mercados de etanol anidro e de açúcar no mercado de etanol hidratado, tanto no segmento produtor como no varejista. Um choque exógeno de 1% no preço açúcar internacional resulta em um efeito acumulado de 0,85% no preço do produto no mercado doméstico, sendo que 57% deste choque é repassado ao preço do etanol anidro (produtos concorrentes pela matéria-prima na indústria). Como este preço, por sua vez, representa uma variável *proxy* para o preço do etanol hidratado no segmento produtor, pode-se afirmar que 60% das variações de preço neste segmento são repassadas ao preço do combustível no mercado varejista. Já o impacto de um choque não antecipado do preço do etanol anidro ao produtor sobre o preço da gasolina C é pouco expressivo, devido à baixa representatividade do preço do etanol anidro na composição do preço do combustível fóssil ao varejo. Com relação às quantidades comercializadas dos combustíveis no varejo, o impacto das variações exógenas do preço do etanol anidro ao produtor também é maior na venda de etanol hidratado, enquanto o consumo de gasolina C pouco se altera.

No caso de um choque positivo na renda, os efeitos acumulados mostram um crescimento nas vendas dos dois combustíveis no segmento varejista, sendo que o crescimento no mercado de etanol hidratado é maior do que no da gasolina C (elasticidades acumuladas de 0,95 e 0,76, respectivamente). É interessante observar que os maiores efeitos de uma variação não antecipada na renda da população sobre as vendas de combustíveis no varejo ocorrem no mês seguinte ao choque. De acordo com Bacchi (2009), no mês seguinte é que os consumidores têm disponíveis os salários referentes ao mês em que ocorreu o aumento para poderem efetuar as

aquisições de bens e serviços. O aumento na renda causa, ainda, elevação de todos os preços, tanto no segmento produtor quanto no varejista, sendo que a elevação do preço da gasolina C, controlado pelo governo, é bem menos expressiva.

A análise da decomposição das variâncias do erro de previsão das variáveis incluídas no modelo evidenciou que a variável que tem maior impacto sobre o preço do etanol hidratado combustível no varejo é o preço do etanol anidro ao produtor, variável *proxy* do preço do etanol hidratado neste segmento de mercado. Os principais determinantes da venda de etanol hidratado no varejo são a renda, explicando pouco mais de 10% da variância do erro de previsão daquela série, o preço do etanol hidratado combustível no varejo, que explica 6,2%, e o do etanol anidro no segmento produto (5,6%). Já com relação às vendas de gasolina C no varejo, o principal determinante é a renda (10,9%), enquanto as demais variáveis contribuem pouco para explicar suas variações. O preço do açúcar no mercado internacional, o preço da gasolina C no varejo, a produção de açúcar e a renda são as variáveis que possuem comportamento mais independente relativamente ao das demais variáveis consideradas no modelo.

Com relação à decomposição histórica do erro de previsão, foi possível observar que os desvios dos valores observados em relação aos previstos estão associados, principalmente, aos choques exógenos no próprio preço do etanol hidratado ao varejo e, também, ao preço do etanol anidro ao produtor. Os fundamentos de mercado, isto é, as variáveis explicativas consideradas nesta análise, exceto a própria variável de interesse, explicam pelo menos 76% das variações do preço do etanol hidratado no varejo.

Finalmente, a análise da previsão dentro da amostra para o preço do etanol hidratado no segmento varejista sugere que este preço assumiria um patamar mais elevado se não fosse a política de controle de preços dos derivados do petróleo adotada no Brasil nos últimos anos. Nas duas últimas safras do período estudado, o preço efetivamente praticado para o etanol hidratado no segmento varejista está, em média, 23,7% abaixo do previsto pelo modelo estimado neste estudo, o qual capta o padrão médio do comportamento da série, dados os fundamentos de mercado considerados.

Se, por um lado, essa política é justificada por seu poder de evitar um aumento indesejado nos índices de inflação do País, por outro lado, provoca distorções nos preços setoriais. Primeiramente, a manutenção do preço da gasolina

C, apesar das oscilações do preço internacional do petróleo, gera um aumento artificial no consumo deste combustível. Consequentemente, há uma necessidade cada vez maior de importar derivados de petróleo a preços cada vez mais altos para complementar o suprimento nacional (revendidos no mercado interno a preços mais baixos).

Além disso, essa política causa uma distorção na relação de preços entre etanol hidratado e gasolina, combustíveis substitutos no abastecimento dos veículos *flex-fuel*, reduzindo a competitividade do combustível renovável frente ao fóssil e desestimulando novos investimentos no setor sucroenergético. Essa falta de investimentos no setor pode ocasionar, entre outros efeitos, a não compatibilidade entre oferta e demanda de etanol, dificuldade no planejamento da produção e na escolha do *mix* de produção (açúcar e etanol), maior volatilidade dos preços e, ainda, importação de etanol como ocorreu em 2009, 2010 e 2011. Como resultado, há a ameaça de diminuição da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, que atualmente é a mais renovável do mundo industrializado. Para trabalhos futuros, seria interessante uma avaliação detalhada dos impactos dessa política, contemplando, inclusive, sua mensuração.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Levantamento de preços**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=59906&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1335235701631>>. Acesso em: 20 abr. 2011.
- ALVES, L.R.A. **Transmissão de preços entre produtos do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**. 2002. 123p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- ANUÁRIO DA CANA 2011. **ProCana**. São Paulo, 2011. 420p.
- ANUÁRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – RENERGY 2011. São Paulo: FNP, , 2011. 505p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 10 fev. 2012.
- BACCHI, M.R.P. **Interdependência dos mercados de gasolina C e álcool combustível no Estado do São Paulo**. VI Jornadas interdisciplinares de estudos agrários e agroindustriais. Buenos Aires, 2009.
- BACCHI, M.R.P.; LIMA, L.M.; BRAGATO, I.R. Preços de etanol no mercado doméstico: variabilidade e fundamentos. In: MARJOTTA-MAISTRO, M.C. (Org.) **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil**. São Carlos: EdUFSCar, 2011. p. 151-174.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL – BACEN. **Taxas de câmbio**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?txcambio>>. Acesso em: 20 abr. 2011.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES e CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2008. 316p.
- BAUDEL, H.M. **Pré-tratamento e hidrólise**. III Workshop Tencológico sobre Hidrólise para Produção de Etanol. São Paulo, 2006. 37p.
- BERNANKE, B.S. Alternative explanations of the money-income correlation. **Canegie-Rochester Conference Series on Public Policy**, Rochester, v. 25, p. 49-100, 1986.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet – Aliceweb.**

Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 30 jan. 2012.

BRASIL. Portal Brasil. **Matriz energética.** Disponível em:

<<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-o-brasil-esta-fazendo/matriz-energetica>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

BRESSAN FILHO, A. A necessidade de uma nova visão para o setor sucroalcooleiro no Brasil. In: MARJOTTA-MAISTRO, M.C. (Org.) **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil.** São Carlos: EdUFSCar, 2011. p. 271-304.

BURNQUIST, H.L.; SOUZA, M.J.P. Guia para a análise do comércio internacional de açúcar e etanol. In: MARJOTTA-MAISTRO, M.C. (Org.) **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil.** São Carlos: EdUFSCar, 2011. p. 115-133.

CAMPOS, S.K. **Fundamentos econômicos da formação do preço internacional de açúcar e dos preços domésticos de açúcar e etanol.** 2010. 141p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **Indicadores de preços.** Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 31 mai. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

DIAS, L.C. **Determinantes das ofertas de açúcar e de álcool paranaenses (1981 a 2006):** uma análise de co-integração. 2008. 97p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. Distribution on the estimator for auto-regressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 74, p. 427-431, 1979.

DICKEY, D.A.; FULLER, W.A. Likelihood ratio statistics for auto-regressive time series with a unit root. **Econometrica**, Oxford, v. 49, p. 1057-1072, 1981.

ELLIOT, G.; ROTHENBERG, T.J.; STOCK, J.H. Efficient tests for an autorregressive unit root. **Econometrica**, Oxford, v. 64, n. 4, p. 813-836, 1996.

ENDERS, W. **Applied econometric time series.** New York: John Wiley, 2004. 466p.

ENGLE, R.F.; GRANGER, C.W.J. Co-integration and error correction: representation, estimation and testin. **Econometrica**, Oxford, v.55, p. 251-276, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Agência de informação Embrapa – cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>>. Acesso em: 18 dez. 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional – BEN**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Paginas/default.aspx?CategorialD=347>>. Acesso em: 15 jan. 2012.

FARINA, E.; VIEGAS, C. PEREDA, P. GARCIA, C. Mercado e concorrência do etanol. IN: SOUZA, E.L.L.; MACEDO, I.C. (Org.) **Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. p 227-259.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Statistical databases: FAOSTAT – agriculture**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 12 jan. 2012.

FULLER, W.A. **Introduction to statistical time series**, New York: John Wiley , 1976. 480p.

GUIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. São Paulo: Conselho de Informações sobre Biotecnologia, Set. 2009. 19p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/default.shtm>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Ipeadata**. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em 20 mai. 2011. (Séries macroeconômicas).

JANK, M.S. Uma matriz de combustíveis para o Brasil. **Etanol e Bioeletricidade: a cana de açúcar no futuro da matriz energética**, São Paulo, 2009. p. 7-9

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journals of Economic Dynamics and Control**, Boston, v.12, p. 231-254, 1988.

JUDGE, G.G.; HILL, R.C.; GRIFFITHS, W.E.; LUTKEPOHL, H.; LEE, T. **introduction to the theory and practice of econometrics**. New York; John Wiley, 1988. 1024p.

LAMOUNIER, W.M.; CAMPOS FILHO, M.F.; BRESSAN, A.A. Análise do *trade-off* na produção de açúcar e álcool nas usinas da região Centro-Sul do Brasil. In: CONGRESSO DA SOBER, 44., 2006. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. 1 CD ROM.

LIMA, E.C.R. A interdependência entre os mercados de frangos e bovinos: uma aplicação da metodologia VAR-Estrutural. **Texto para discussão. IPEA**, Rio de Janeiro, n. 501, p. 1-31, 1997.

MARJOTTA-MAISTRO, M.C. **Ajustes nos mercados de álcool e gasolina no processo de desregulamentação**. 2002. 197p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARQUES, P.V. (Coord.). **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas / Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Universidade de São Paulo, 2009. 19p. (Relatório apresentado a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA).

MEIRA FILHO, L.G.; MACEDO, I.C. Uso do etanol contribui para reduzir aquecimento global. **Etanol e Bioeletricidade: a cana de açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo, 2009. p. 20-23.

MORAES, M.A.F.D. Desregulamentação da Agroindústria Canavieira: Novas Formas de Autação do Estado e Desafios do Setor Privado. In: MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. (Org.). **Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios**. São Paulo: Atlas, 2002. cap. 1, p.21-42.

NEVES, M.F.; CONEJERO, M.A. Sistema agroindustrial da cana: cenários e agenda estratégica. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 11, n. 4, p.587-604, Out.-Dez. 2007.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G.; CONSOLI, M. PIB do setor sucroenergético, de US\$ 28 bi, é quase um Uruguai. **Etanol e Bioeletricidade: a cana de açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Editora, 2009. p. 10-15.

NEVES, M.F.; PINTO, M.J.A.; CONEJERO, M.A.; TROMBIN, V.G. O mapa sucroenergético do Brasil. In: SOUZA, E.L.L.; MACEDO, I.C. (Org.) **Etanol e Bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética**. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. p 15-43.

NEVES, M.F.; PINTO, M.J.A; CONEJERO, M.A.; TROMBIN, V.G. **Food na Fuel: the example of Brazil**. Holanda:Editora, 2011. 148p.

NG, S.; PERRON, P. Lag lenght selection and the construction of unit roots tests with good size and power. **Econometrica**, Oxford, v. 69, p. 1519-1554, 2001.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2010/2011**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. 141p. (Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA).

PHILLIPS, P.C.B. Time series regression with a unit root. **Econometrica**, Oxford, v. 55, p. 277-301, 1987.

PHILLIPS, P.C.B.; PERRON, P. Testing for a unit root in time series regression. **Biometrika**, Oxford, v. 75, p. 335-346, 1988.

PIRES, A. Falta de investimentos põe em xeque o mercado de etanol. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 05 de agosto de 2011. Título do caderno, páginas inicial-final.

RATS USER’S GUIDE VERSION 7. **Estima**, Evanston, 2007. 632p.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION – RFA. **Annual Industry Outlook**. Disponível em: <<http://www.ethanolrfa.org/pages/annual-industry-outlook>>. Acesso em: 25 fev. 2012.

SAID, S.E.; DICKEY, D.A. Testing for unit roots in autoregressive moving average models of unknown order. **Biometrika**, Oxford, v. 71, p. 599-607, 1984.

SATOLO, L.F. **Dinâmica das flutuações na produção de cana-de-açúcar**. 2008. 131p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SEABRA, J.E.A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil**. 2008. 274p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SILVA NETO, W.A. **Crescimento da pecuária de corte no Brasil: fatores econômicos e políticas setoriais**. 2011. 170p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SIMS, C.A. Macroeconomic and reality. **The American Economic Review**, Pittsburgh, v.48, n.1, p. 1-49, 1980.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – UNICA. **Dados e cotações:** estatísticas. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 9 jul. 2011.

VIEIRA, M.A.S.; HOFFMANN, H.P.; BASSINELLO, A.I.; BARBOSA, G.V.S. Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar *Saccharum spp*, desenvolvido pela Ridesa. In: MARJOTTA-MAISTRO, M.C. (Org.) **Desafios e perspectivas para o setor sucroenergético do Brasil**. São Carlos: EdUFSCar, 2011. p. 79-97.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Evolução das séries utilizadas no modelo VEC

Figura 45 – Séries utilizadas na análise: *pehv* – preço do etanol hidratado no varejo

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 46 – Série utilizada na análise: *peap* – preço do etanol anidro ao produtor

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 47 – Série utilizada na análise: *pgcv* – preço da gasolina C no varejo

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 48 – Série utilizada na análise: *pacd* – preço do açúcar no mercado doméstico

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 49 – Série utilizada na análise: *paci* – preço do açúcar no mercado internacional

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 50 – Série utilizada na análise: *qehv* – vendas de etanol hidratado no varejo

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 51 – Série utilizada na análise: *qgcv* – vendas de gasolina C no varejo

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 52 – Série utilizada na análise: *qacd* – comercialização de açúcar no mercado interno paulista

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 53 – Série utilizada na análise: y – renda interna

Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE B – Decomposição da variância do erro de previsão

Tabela 10 – Decomposição da variância do erro de previsão: *qehv* – vendas de etanol hidratado no varejo

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,766	0,074	0,000	0,054	0,066	0,000	0,009	0,002	0,030
2	0,666	0,064	0,055	0,055	0,055	0,000	0,007	0,011	0,086
3	0,649	0,063	0,061	0,053	0,056	0,000	0,007	0,010	0,100
4	0,647	0,063	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,102
5	0,646	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
6	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
7	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
8	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
9	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
10	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
11	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103
12	0,645	0,062	0,062	0,053	0,056	0,001	0,007	0,010	0,103

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 11 – Decomposição da variância do erro de previsão: *pehv* – vendas de etanol hidratado no varejo

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,488	0,000	0,000	0,438	0,000	0,059	0,014	0,000
2	0,045	0,374	0,004	0,003	0,431	0,000	0,083	0,060	0,001
3	0,044	0,367	0,004	0,003	0,426	0,002	0,081	0,061	0,011
4	0,044	0,367	0,005	0,003	0,426	0,003	0,081	0,061	0,011
5	0,044	0,367	0,005	0,003	0,426	0,003	0,081	0,061	0,011
6	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
7	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
8	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
9	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
10	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
11	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011
12	0,044	0,367	0,005	0,003	0,425	0,003	0,081	0,061	0,011

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 12 – Decomposição da variância do erro de previsão: *qgc_v* – vendas de gasolina C no varejo

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgc_v</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,001	0,951	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,045
2	0,014	0,011	0,819	0,002	0,003	0,004	0,008	0,040	0,097
3	0,024	0,011	0,799	0,002	0,004	0,004	0,009	0,039	0,107
4	0,025	0,011	0,795	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
5	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
6	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
7	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
8	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
9	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
10	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
11	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109
12	0,026	0,011	0,794	0,002	0,004	0,005	0,010	0,039	0,109

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 13 – Decomposição da variância do erro de previsão: *pgcv* – preço de gasolina C no varejo

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgc_v</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,014	0,001	0,001	0,964	0,018	0,000	0,000	0,001	0,002
3	0,014	0,001	0,001	0,949	0,027	0,001	0,001	0,001	0,006
4	0,014	0,001	0,001	0,947	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
5	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
6	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
7	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
8	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
9	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
10	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
11	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006
12	0,014	0,001	0,001	0,946	0,028	0,001	0,001	0,001	0,006

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 14 – Decomposição da variância do erro de previsão: *peap* – preço de etanol anidro ao produtor

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,857	0,000	0,115	0,028	0,000
2	0,022	0,031	0,015	0,001	0,791	0,011	0,102	0,025	0,003
3	0,022	0,033	0,016	0,001	0,777	0,013	0,099	0,028	0,011
4	0,022	0,033	0,016	0,001	0,774	0,013	0,099	0,030	0,011
5	0,023	0,033	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
6	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
7	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
8	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
9	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
10	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
11	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011
12	0,023	0,034	0,016	0,001	0,773	0,013	0,099	0,031	0,011

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 15 – Decomposição da variância do erro de previsão: *qacd* – comercialização de açúcar no mercado doméstico

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,977	0,015	0,008	0,000
2	0,003	0,000	0,001	0,005	0,011	0,914	0,035	0,027	0,005
3	0,003	0,001	0,001	0,005	0,011	0,909	0,035	0,030	0,005
4	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
5	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
6	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
7	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
8	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
9	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
10	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
11	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005
12	0,003	0,001	0,002	0,005	0,011	0,908	0,035	0,030	0,005

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 16 – Decomposição da variância do erro de previsão: *pacd* – preço de açúcar no mercado doméstico

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,803	0,197	0,000
2	0,002	0,004	0,001	0,012	0,054	0,012	0,634	0,281	0,000
3	0,005	0,008	0,003	0,014	0,068	0,012	0,612	0,278	0,000
4	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,011	0,608	0,278	0,002
5	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
6	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
7	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
8	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
9	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
10	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
11	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002
12	0,006	0,009	0,003	0,014	0,069	0,012	0,607	0,279	0,002

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 17 – Decomposição da variância do erro de previsão: *paci* – preço do açúcar no mercado internacional

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
2	0,001	0,002	0,000	0,010	0,006	0,005	0,019	0,957	0,000
3	0,001	0,004	0,000	0,012	0,006	0,005	0,020	0,951	0,001
4	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,950	0,001
5	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
6	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
7	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
8	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
9	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
10	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
11	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001
12	0,001	0,004	0,000	0,012	0,007	0,005	0,020	0,949	0,001

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela 18 – Decomposição da variância do erro de previsão: y – renda interna

Período	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
2	0,006	0,001	0,010	0,001	0,033	0,016	0,008	0,019	0,907
3	0,006	0,001	0,010	0,002	0,033	0,019	0,009	0,019	0,900
4	0,006	0,001	0,010	0,002	0,033	0,019	0,009	0,019	0,899
5	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
6	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
7	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
8	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
9	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
10	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
11	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899
12	0,006	0,001	0,010	0,002	0,034	0,019	0,009	0,019	0,899

Fonte: Resultados da pesquisa.

APÊNDICE C

Tabela 19 – Decomposição histórica dos erros de previsão

Período	Erro de Prev. (%)	<i>qehv</i>	<i>pehv</i>	<i>qgcv</i>	<i>pgcv</i>	<i>peap</i>	<i>qacd</i>	<i>pacd</i>	<i>paci</i>	<i>y</i>
ago-07	-5,01	-0,12	-4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
set-07	-7,25	0,64	-8,52	0,59	0,02	0,26	0,02	0,04	-0,25	0,07
out-07	-9,95	-0,69	-7,96	0,59	-0,23	-0,90	-0,14	0,08	-0,62	-0,25
nov-07	-2,10	0,21	0,46	0,58	-0,31	-1,63	-0,09	-0,18	-0,92	-0,22
dez-07	2,53	0,10	6,16	0,23	0,49	-0,55	-0,12	-1,36	-1,48	-0,76
jan-08	3,08	1,02	5,04	0,86	0,89	-1,41	-0,36	-1,02	-1,33	-0,50
fev-08	4,22	0,97	5,35	0,42	1,02	-1,78	-0,26	-0,33	-1,01	-0,07
mar-08	4,84	0,55	5,83	0,46	0,75	-0,53	-0,14	-0,79	-0,67	-0,56
abr-08	1,55	0,24	4,31	0,64	0,79	-1,00	-0,17	-1,54	-0,81	-0,80
mai-08	0,91	0,93	5,18	0,67	0,89	-2,94	-0,17	-1,39	-1,35	-0,73
jun-08	-0,25	1,50	4,11	0,64	1,07	-2,68	0,12	-1,68	-2,23	-0,92
jul-08	1,41	1,26	5,90	0,51	1,29	-2,35	0,20	-1,02	-2,85	-1,25
ago-08	3,80	0,14	5,00	0,74	1,12	0,51	0,26	-0,26	-2,32	-1,29
set-08	4,24	-0,12	5,02	0,65	0,52	1,68	0,17	-0,14	-2,08	-1,37
out-08	4,19	0,85	3,39	0,64	0,64	3,36	0,15	-0,29	-2,52	-1,93
nov-08	5,21	0,93	2,45	0,83	0,49	4,89	-0,16	-0,50	-1,77	-1,90
dez-08	2,75	0,12	2,53	0,57	0,39	5,20	-0,61	-1,57	-1,23	-2,47
jan-09	-0,54	1,62	-0,98	1,16	0,13	3,81	-0,83	-2,18	-0,99	-2,14
fev-09	-1,26	1,65	-2,52	0,46	0,11	3,90	-0,70	-1,32	-1,25	-1,45
mar-09	-3,05	0,05	-2,70	0,07	-0,36	3,61	-0,61	0,25	-1,69	-1,58
abr-09	-6,20	0,04	-1,64	0,12	-0,84	-0,71	-0,65	0,93	-1,82	-1,77
mai-09	-10,29	2,08	-3,69	0,03	-0,52	-4,16	-1,02	0,64	-1,81	-2,19
jun-09	-14,92	1,56	-6,61	-0,09	-0,81	-7,11	-0,31	1,18	-1,32	-2,09
jul-09	-16,56	1,57	-6,40	-0,30	-1,08	-7,82	-0,14	0,10	-1,51	-1,92
ago-09	-22,11	1,39	-12,27	-0,64	-1,25	-8,00	-0,16	-0,24	-0,76	-1,86
set-09	-23,80	0,32	-13,60	-0,94	-1,52	-8,72	0,13	-0,18	0,14	-1,36
out-09	-20,41	0,91	-9,15	-1,38	-1,29	-8,94	0,04	-0,31	-0,13	-1,67
nov-09	-23,20	1,81	-11,91	-1,33	-1,36	-9,66	-0,24	-1,08	-0,04	-1,28
dez-09	-24,43	0,20	-11,55	-1,57	-1,56	-9,47	-0,21	-0,87	-0,15	-1,59
jan-10	-19,49	2,10	-10,88	-0,72	-1,60	-8,76	0,22	-0,87	0,56	-0,63
fev-10	-17,76	0,45	-10,35	-0,09	-1,63	-8,22	0,39	-0,17	1,50	-0,48
mar-10	-23,11	-1,84	-14,66	-0,51	-1,68	-7,25	0,38	-0,01	1,49	-0,68
abr-10	-22,94	-0,86	-13,19	-0,50	-0,96	-9,66	0,69	0,37	-0,15	-0,33
mai-10	-24,56	0,58	-16,09	-1,13	-0,20	-9,82	1,10	1,18	-1,31	-0,47
jun-10	-24,96	0,99	-17,98	-1,31	-0,42	-7,65	1,01	-0,19	-1,20	0,21
jul-10	-23,08	0,50	-16,23	-1,48	-0,58	-6,98	0,64	0,11	-0,73	0,25
ago-10	-22,12	0,69	-16,17	-1,46	-0,60	-6,53	1,16	-0,29	-0,42	0,34
set-10	-22,23	0,60	-17,23	-1,47	-0,29	-6,19	1,14	-0,13	-0,12	0,45
out-10	-17,87	1,19	-16,10	-1,68	-0,18	-4,00	0,63	1,07	0,50	0,44
nov-10	-19,71	0,94	-19,22	-1,64	-0,38	-2,94	0,33	2,18	0,65	0,34
dez-10	-17,81	0,16	-18,39	-1,67	-0,33	-1,30	-0,17	2,30	1,14	0,64
jan-11	-13,67	2,42	-16,96	-0,82	-0,30	-1,81	-0,43	1,69	2,08	1,14
fev-11	-13,59	0,06	-14,74	-1,08	0,43	-2,02	-0,34	1,27	2,86	0,24
mar-11	-3,27	4,06	-8,55	-2,15	1,04	-1,32	-0,11	1,27	2,85	0,14

Fonte: Resultados da pesquisa.

ANEXOS

ANEXO A

RESOLUÇÃO ANP Nº 9, DE 1º.4.2009 - DOU 2.4.2009

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS

O DIRETOR-GERAL da AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP, no uso de suas atribuições, considerando o disposto no inciso I, art. 8º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, alterada pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 e com base na Resolução de Diretoria nº 276, de 31 de março de 2009,

Considerando o interesse para o país em incrementar a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional;

Considerando o interesse do país em promover os biocombustíveis brasileiros no mercado internacional;

Considerando a necessidade de uniformização das nomenclaturas internacionalmente utilizadas para designar os biocombustíveis; e

Considerando que álcool etílico combustível e etanol combustível são expressões tecnicamente sinônimas,

Resolve:

Art. 1º Fica estabelecida, por meio da presente Resolução, que o álcool etílico combustível também poderá ser chamado, para efeito de regulamentação da ANP, de etanol combustível.

§ 1º O disposto no caput deste artigo abrange os dois tipos de álcool etílico combustível especificados pela ANP, anidro e hidratado, que passam a ser denominados de duas formas:

I - Álcool Etílico Anidro Combustível ou Etanol Anidro Combustível;

II - Álcool Etílico Hidratado Combustível ou Etanol Hidratado Combustível.

§ 2º A partir da data de publicação desta Resolução, os novos atos normativos da ANP, bem como as revisões dos atos vigentes, deverão adotar a nomenclatura proposta, de modo que, onde se lê "álcool etílico combustível", passa-se a ler "álcool etílico combustível ou etanol combustível", o mesmo ocorrendo com os dois tipos relacionados no § 1º deste artigo.

Art. 2º A nomenclatura passa a ser de uso obrigatório, não sendo mais admitida, no âmbito da ANP, a utilização isolada da nomenclatura álcool etílico combustível nos novos atos normativos, assim como nas revisões dos atos vigentes.

Art. 3º Os revendedores varejistas ficam autorizados a utilizar a nomenclatura "Etanol" para indicar o produto Álcool Etílico Hidratado Combustível ou Etanol Hidratado Combustível exclusivamente nas bombas abastecedoras de veículos, devendo, entretanto, ser mantida a nomenclatura prevista no art. 1º desta Resolução em todos os demais meios de identificação, inclusive em documentos fiscais.

Art. 4º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação no Diário Oficial da União.

HAROLDO BORGES RODRIGUES LIMA

ANEXO B – Estruturas de formação do preço da gasolina comum

Composição do preço da gasolina "A" (pura, sem a mistura de etanol anidro combustível - EAC) no produtor ou importador de gasolina e etanol hidratado

A. Preço de realização (1)

B. Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - Cide (2)

C. PIS/Pasep e Cofins (3)

D. Preço de faturamento sem ICMS $D = A + B + C$

E. ICMS produtor $E = [(D / (1 - ICMS\%))] - D$ (6)

F. Preço de faturamento com ICMS (sem o ICMS da Substituição Tributária) $F = D + E$

G. (i) ICMS da Substituição Tributária (com PMPF) $G = (PMPF \times ICMS\% / (1 - MIX(9))) - E$ (7)

ou

(ii) ICMS da Substituição Tributária (na ausência do PMPF) $G = F \times \% MVA \times ICMS\%$ (8)

H. Preço de faturamento do produtor sem frete (ex refinaria) com ICMS $H = F + G$ (i) ou $+ G$ (ii)

Composição do preço do etanol anidro combustível (EAC) a ser misturado à gasolina "A"

I. Preço do etanol anidro combustível (1)

J. Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - Cide (2)

K. PIS/Pasep e Cofins (4)

L. Preço de faturamento do produtor sem frete e sem ICMS (O ICMS incidente sobre o etanol anidro foi cobrado na etapa de produção da gasolina A na proporção da mistura para formação da gasolina C, conforme item G acima)

$L = I + J + K + L$ (5)

Composição do preço da gasolina "C" (mistura de gasolina "A" e etanol anidro combustível) a partir da distribuidora

M. Frete da gasolina "A" até a base de distribuição

N. Frete do EAC até a base de distribuição (frete de coleta)

O. Custo de aquisição da distribuidora $O = M + N + (H \times (1 - \text{MIX } (9))) + (L \times \text{MIX } (9))$

P. Margem da distribuidora

Q. Frete da base de distribuição até o posto revendedor

R. Preço de faturamento da distribuidora $R = O + P + Q$

Composição do preço final de venda da gasolina "C" no posto revendedor

S. Custo de aquisição do posto revendedor $S = R$

T. Margem da revenda

U. Preço bomba de gasolina "C" $U = S + T$

Observações:

(1) Preço FOB (sem fretes e tributos)

(2) Lei nº 10.336, de 12/12/01, e suas alterações, combinada com o Decreto nº 5.060, de 30/04/04, e suas alterações

(3) Lei nº 10.865, de 30/04/04, e suas alterações, combinada com o Decreto nº 5.059, de 30/04/04, e suas alterações (para os contribuintes que optaram pela alíquota específica)

(4) Lei nº 11.727, de 23/06/08, e suas alterações, combinada com o Decreto nº 6.573, de 19/09/08, e suas alterações (para os contribuintes que optaram pela alíquota específica)

(5) Em geral, diz-se que há diferimento tributário, quando o recolhimento de determinado tributo é transferido para uma etapa posterior da cadeia. No caso do etanol anidro combustível, o produtor ou importador de gasolina "A" recolhe o tributo incidente sobre a etapa de produção de anidro (usina), nos casos em que este seja utilizado para composição da gasolina "C".

(6) Alíquotas estabelecidas pelos governos estaduais (com reduções das bases de cálculo, se houver) e acrescidas do "Fundo de Pobreza" (se houver).

(7) Preço Médio ao Consumidor Final (PMPF) estabelecido por Ato Cotepe / PMPF

(8) Margem de Valor Agregado (MVA) estabelecido por Ato Cotepe / MVA (apenas na ausência do PMPF) (7)

(9) MIX: Lei nº 8.723, de 28/10/93, e suas alterações, combinada com a Resolução Cima que define o percentual (%) de mistura obrigatória de etanol anidro combustível na gasolina

Fonte: ANP (2011).

ANEXO C – Estruturas de formação do preço do etanol combustível**Composição do preço do etanol hidratado no produtor**

- A. Preço de realização (1)
- B. Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico = Cide (3)
- C. PIS/Pasep e Cofins (4)
- D. Preço de faturamento sem ICMS $D = A + B + C$
- E. ICMS produtor $E = [(D / (1 - ICMS\%))] - D$ (5)
- F. Preço de faturamento do produtor com ICMS $F = D + E$

Composição do preço a partir da distribuidora

- G. Frete até a base de distribuição (2)
- H. Custo de aquisição da distribuidora $H = F + G$
- I. Frete da base de distribuição até o posto revendedor
- J. Margem da distribuidora
- K. PIS/Pasep e Cofins (4)
- L. Preço da distribuidora sem ICMS $L = H + I + J + K - E$
- M. ICMS da distribuidora $M = [(L / (1 - ICMS\%))] - L - E$ (5)
- N. Preço da distribuidora com ICMS e sem Substituição Tributária da revenda $N = M + L + E$
- O. (i) ICMS da Substituição Tributária da revenda (com PMPF) $O = (PMPF \times ICMS\%) - E - M$ (6)

ou

(ii) ICMS da Substituição Tributária da revenda (na ausência do PMPF) $O = \% MVA \times (E + M)$ (7)

P. Preço de faturamento da distribuidora $P = N + O$ (i) ou $P = N + O$ (ii)

Composição do preço final de venda do etanol hidratado no posto revendedor

Q. Preço de aquisição da distribuidora $Q = P$

R. Margem da revenda

S. Preço bomba do etanol hidratado combustível $S = Q + R$

Observações:

(1) Preço FOB (sem fretes e tributos)

(2) Frete até a base de distribuição (quando cobrados separadamente)

(3) Lei nº 10.336, de 12/12/01 e suas alterações, combinada com o Decreto nº 5.060, de 30/04/04 e suas alterações

(4) Lei nº 11.727, de 23/06/08 e suas alterações combinada com o Decreto nº 6.573, de 19/09/08 e suas alterações

(para os contribuintes que optaram pela alíquota específica)

(5) Alíquotas estabelecidas pelos governos estaduais (com reduções das bases de cálculo, se houver) e acrescidas do "Fundo de Pobreza" (se houver).

Algumas legislações estaduais diferem o ICMS para a distribuidora ou antecipam para o produtor

(6) Preço Médio ao Consumidor Final (PMPF) estabelecido por Ato Cotepe / PMPF

(7) Margem de Valor Agregado (MVA) estabelecido por Ato Cotepe / MVA (apenas na ausência do PMPF) (6)

Fonte: ANP (2011).