

# Elasticidade da demanda de cana-de-açúcar, açúcar e etanol<sup>1</sup>

Nanisia Pereira de Oliveira<sup>2</sup>  
Wellington Ribeiro Justo<sup>3</sup>  
Alan Francisco Carvalho Pereira<sup>4</sup>

**Resumo** – O álcool é um importante produto da cultura canavieira, que pode ser usado como fonte de energia renovável e energia fóssil, além de ser utilizado para fins carburantes, em substituição aos derivados do petróleo. O objetivo deste trabalho é estimar a demanda de cana-de-açúcar, principal matéria-prima para o etanol e o açúcar, pela ótica da elasticidade. A metodologia consiste em análises de elasticidade-preço e elasticidade-renda para a cana, o açúcar e o etanol no Brasil, no período do primeiro trimestre de 2000 ao quarto trimestre de 2015, observando se houve quebra estrutural nas relações entre as variáveis por meio do teste de Bai-Perron, recentemente disponibilizado nos pacotes estatísticos. Os resultados apontaram que há quebras estruturais em todas as séries. Assim, ficou evidenciada a importância de considerar as quebras estruturais no cálculo das elasticidades, haja vista que os valores mudam a depender do período considerado.

**Palavras-chave:** Bai-Perron, políticas públicas, sensibilidade.

## Elasticity of demand for sugarcane, sugar and ethanol

**Abstract** – Alcohol is a major product of sugar cane, which can be used as a source of renewable energy and fossil energy and used for fuel purposes to replace petroleum. The objective of this study is the estimation of the demand for sugarcane, the main raw material for ethanol and sugar from the perspective of elasticity. The methodology consists of analysis of price elasticity and income elasticity for sugarcane, sugar and ethanol in Brazil in the first quarter of 2000 the period the fourth quarter of 2015 observing whether structural break in the relationship between the variables through the Bai Perron test newly available in statistical packages. The results showed that there are structural breaks in all series. Thus, the authors emphasize the importance of considering structural breaks in the calculation of elasticities given that the values change depending on the period considered.

**Keywords:** Bai-Perron, public policy, sensitivity.

<sup>1</sup> Original recebido em 19/4/2017 e aprovado em 24/7/2017.

<sup>2</sup> Economista, mestre em Economia. E-mail: nanisia.oliveira@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor em Economia, professor associado da Urca. E-mail: justowr@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Economista, Mestre em Economia, professor assistente da Univasf. E-mail: alanpereira1993@hotmail.com

## Introdução

Da cana-de-açúcar origina-se não só o açúcar, como também derivados de usos alternativos: o melaço, a aguardente e o bagaço da cana, que serve como matéria-prima na produção de álcool, mais conhecido como etanol. O álcool é um importante produto da cultura canavieira, que pode ser usado como fonte de energia renovável e energia fóssil. Também é utilizado para fins carburantes, em substituição aos derivados do petróleo. Desse modo, pode-se dizer que a cultura canavieira está ligada a duas questões fundamentais: uma relacionada à segurança alimentar, via produção e consumo de açúcar; e outra relacionada a questões energéticas, via produção e consumo de etanol (SHIKIDA, 2014).

No fim do século 20, o elevado preço do petróleo contribuiu para a formulação de programas de substituição de combustível fóssil. Nesse cenário de crise, o etanol adquiriu grande importância no mercado internacional. No Brasil, maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o governo federal observou uma oportunidade de expandir o mercado e fazer do País o maior exportador do produto. Surgiria, assim, um país líder na produção de álcool (SCHLESINGER, 2014).

Atualmente, a produção agroindustrial brasileira está baseada em duas grandes monoculturas – soja e cana-de-açúcar –, que são usadas na produção de combustíveis (SCHLESINGER, 2014). O presente trabalho analisará o mercado produtor de cana-de-açúcar, açúcar e etanol pela ótica da sensibilidade. Ou seja, será realizada uma análise da elasticidade da demanda de cana, açúcar e etanol do Brasil.

Para tanto, o estudo pretende estimar a elasticidade-preço, a elasticidade-renda da cana, do açúcar e do etanol e a elasticidade-preço cruzada do etanol no mercado interno do Brasil, entre o primeiro trimestre de 2000 e o quarto trimestre de 2015, sabendo que a cana-de-açúcar é a matéria-prima, e o açúcar e o etanol são bens concorrentes, e observando se houve quebra estrutural nas relações entre as variáveis consi-

deradas. Especificamente deseja-se estimar uma regressão ignorando possíveis quebras estruturais e estimar novamente, depois da identificação de quebras estruturais e da aplicação do teste de Bai-Perron. Por último, estimar um modelo com *dummies* para cada período, considerando as quebras obtidas no referido teste.

A análise da elasticidade da demanda apresenta grande relevância na tomada de decisão, tanto para o setor privado quanto para o setor público. O método Ordinary Least Squares (OLS) com quebras estruturais foi escolhido porque admite que a relação entre as variáveis explicativas e a dependente seja dinâmica ao longo do tempo. Dada a relevância desse setor para o agronegócio brasileiro e tendo em vista a baixa produção de trabalhos que consideram estimações com quebras estruturais para a estimação das elasticidades, espera-se que este artigo possa contribuir para a literatura. Com efeito, embora o teste tenha sido desenvolvido há duas décadas, só recentemente foi incorporado às rotinas dos softwares econométricos.

Assim, a importância deste estudo deve-se ao fato de compreender a dinâmica entre elasticidade-preço e elasticidade-renda da demanda da cana-de-açúcar e seus derivados, para o Brasil. Na análise da demanda da cana, considera-se o preço da cana-de-açúcar, o PIB per capita e o índice de produção de derivados da cana. A demanda do açúcar é determinada pelo preço do açúcar e do PIB per capita. E a análise da demanda de álcool é determinada pelo preço do próprio álcool, pelo preço da gasolina e pelo PIB per capita.

## Revisão de literatura

Evidências empíricas na literatura econômica mostram a importância da utilização de métodos para explicar o comportamento da demanda dos produtos agrícolas e agroindustriais no mercado. A estimação da elasticidade da demanda de um bem costuma ser um bom indicador para a realização de análises, porque melhora a compreensão do funcionamento do

mercado. Tal importância fica evidenciada pelos numerosos estudos com foco nos mercados interno e externo.

Barros et al. (2002) estimaram funções de oferta de exportação de produtos agropecuários brasileiros usando modelos ajustados pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com a inclusão do termo de erro para o caso de variáveis cointegradas. Na análise, as elasticidades apresentaram sinais coerentes com o modelo econômico. Os autores mostraram que o impacto do crescimento da economia brasileira sobre as exportações do agronegócio revelou-se significativo e sugeriram que a limitação do mercado doméstico contribui para que maiores volumes sejam exportados. Mostraram também que a taxa de câmbio é um importante fator determinante das exportações dos produtos agrícolas brasileiros. A exportação de açúcar apresentou-se sensível em relação ao mercado interno. Os autores mencionaram também que os preços externos dos produtos que são mais afetados pelo mercado são o do açúcar, o da soja e o da carne industrializada.

A análise da elasticidade da demanda apresenta grande relevância, tanto para o setor privado quanto para o setor público. A análise pode auxiliar os agentes a tomar decisões sobre estratégias empresariais na fixação de preços para o mercado externo, com vista também à maximização do lucro. Do lado do governo, a elasticidade da demanda pode cooperar com a definição de políticas comerciais e programas de ajustamento do setor externo (GALLET, 2010; MELZ, 2014; RESENDE FILHO et. al., 2012).

Alves e Bachi (2004) também utilizaram a estimação de uma função oferta de exportação brasileira de açúcar com modelos de autorregressão vetorial, no período de outubro de 1995 a dezembro de 2008. Em sua análise, os autores constataram que o aumento da demanda das exportações brasileiras e a desvalorização cambial impactam de forma positiva a exportação do açúcar brasileiro.

Oliveira et al. (2008) estimaram as elasticidades-preço e renda da demanda de álcool combustível no Brasil, no período de julho de 2001 a outubro de 2009, por meio de modelos VAR/VEC. Os resultados obtidos foram conforme o esperado, ou seja, de acordo com a teoria microeconômica: a elasticidade-preço do etanol hidratado apresentou sinal negativo (-11,26), a elasticidade-preço da gasolina foi de 12,79 – um bem substituto, ou seja, apresentou sinal positivo em relação à demanda de etanol hidratado – e a elasticidade-renda em relação à demanda do etanol foi de 0,45, que também apresentou sinal positivo e classificação como um bem normal.

Junior e Bone (2010) analisaram a demanda de cana-de-açúcar, açúcar e etanol do Brasil pela ótica da sensibilidade, para o período de 1997 a 2008. Os resultados indicaram que, no mercado sucroalcooleiro, a quantidade demandada do açúcar e do álcool não responde às variações dos preços. Segundo os autores, isso se deve ao fato de o açúcar ser um bem essencial à cesta básica brasileira, e não representar uma parcela significativa do orçamento do consumidor. Quanto à quantidade demandada de etanol, o preço não foi significativo. Em relação à demanda da cana-de-açúcar, verificaram que o coeficiente do preço da cana-de-açúcar é estatisticamente não significativo. Os coeficientes da produção industrial de derivados da cana-de-açúcar (0,21006) e o PIB per capita nacional a preços de 2008 em reais (2,65) foram estatisticamente significantes, apresentando sinais positivo e coerentes, conforme o esperado.

Na exportação de carne bovina brasileira, Gallet (2010) e Resende Filho (2012) utilizaram estimativas da elasticidade da demanda com relação ao preço e à renda, elasticidade esta que evidenciou ser um fator importante na tomada de decisão nos setores público e privado.

Melz et al. (2014) analisaram o mercado de carne bovina com as quebras estruturais. Estimaram a elasticidade da demanda, com respeito ao preço, ao preço cruzado e à renda,

da carne bovina brasileira vendida no mercado internacional, no período de 2003 a 2013. Os autores utilizaram o MQO com quebras estruturais, a partir do qual verificaram três quebras estruturais: em agosto de 2006, em novembro de 2011 e em maio de 2010. Na análise, constataram a existência de quebras estruturais, que devem ser consideradas.

Barbosa et al. (2014) evidenciaram a importância do setor sucroalcooleiro no contexto dos mercados brasileiro e internacional. Na análise da oferta de exportações brasileiras de açúcar no período de 1978 a 2008, os autores, utilizando o MQO, concluíram que a exportação do açúcar é mais sensível às variações na produção e menos sensível às variações na taxa de câmbio.

Gonçalves e Coelho (2015) analisaram o mercado de etanol combustível com estimativas de elasticidade-preço e elasticidade-renda da demanda do etanol hidratado. Além das variáveis independentes – preço do etanol, preço da gasolina e renda –, os autores incluíram no modelo a frota dos veículos, para explicar a variável dependente. Também utilizaram o modelo VAR/VEC. Os autores sugeriram que a demanda por etanol é bem elástica ao preço do etanol e ao preço da gasolina, atendendo, assim, à teoria econômica.

## Metodologia

### Estimação da elasticidade da demanda

A estimação econométrica da elasticidade para um determinado bem pode ser realizada utilizando a teoria clássica do modelo de regressão linear, bastando fazer algumas manipulações matemáticas simples. Essas manipulações e a estimação por meio de MQO são baseadas em

uma função de regressão exponencial definida, segundo Pindyck e Rubinfeld (2004), por

$$Y_i = \delta \alpha X_i^\beta e^{\mu} \quad (1)$$

Para estimar o modelo, basta aplicar o logaritmo neperiano em ambos os lados, para a linearização da função, acrescentando o termo de erro aleatório (WOOLDRIDGE, 2006):

$$\ln Y_i = \alpha + \beta \ln X_i + \mu, \text{ em que } \alpha = \ln \delta \quad (2)$$

Tomando a equação 2, e aplicando o cálculo diferencial para derivá-la em relação à  $X_i$ , e, posteriormente, resolvendo-a para  $\beta$ , observa-se que o coeficiente é a própria elasticidade de  $Y_i$  em relação à  $X_i$ :

$$\beta = \frac{\frac{\Delta Y_i}{Y_i}}{\frac{\Delta X_i}{X_i}} = \left( \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_i} \right) \left( \frac{X_i}{Y_i} \right) \quad (3)^5$$

Aplicando a definição anterior para analisar as elasticidades nos mercados de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, será considerado um conjunto com três modelos para cada mercado: um modelo sem considerar quebras estruturais, ou seja, uma regressão MQO sem restrições; um modelo considerando MQO com quebras estruturais obtidas no teste de Bai-Perron; e um modelo com variáveis *dummies* para cada período de quebra considerado.

A vantagem de estimar um modelo de regressão com quebras estruturais está no fato de considerar que a relação entre as variáveis para tal mercado, neste caso, analisando a elasticidade da demanda, seja dinâmica ao longo do tempo, com mudanças significativas nos parâmetros (BAI; PERRON, 1998). No contexto da elasticidade, considerar quebras ao longo dos períodos analisados tem relevância, pois se

<sup>5</sup> O coeficiente mede a sensibilidade de  $Y$  em relação a  $X$ . Ou seja, qual a variação percentual em  $Y$  em função de uma variação percentual em  $X$ . No caso da elasticidade da demanda, mede a variação na quantidade demandada de  $Y$  em função da variação no preço de  $Y$ . No caso da elasticidade cruzada, mede o aumento na quantidade demandada de  $Y$  em função da variação do preço de  $Z$ .

identifica a sensibilidade da variável dependente, em diferentes períodos, para com choques exógenos em suas variáveis explicativas, como preço, preço de bens substitutos e no produto per capita do País<sup>6</sup>.

Para a demanda de cana-de-açúcar, serão consideradas as três equações de regressão:

$$\ln DAC = \alpha + \beta_1 \ln(IPDC) + \beta_2 \ln(P_{cana}) + \beta_3 \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_1 \quad (4)$$

$$\ln DAC = \alpha + \beta'_{1j} \ln(IPDC) + \beta'_{2j} \ln(P_{cana}) + \beta'_{3j} \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_2 \quad (5)$$

$$\ln DAC = \alpha + \beta''_1 \ln(IPDC) + \beta''_2 \ln(P_{cana}) + \beta''_3 \ln(PIB_{pc}) + \beta''_4 D_j + \varepsilon_3 \quad (6)$$

*DAC* é a série da demanda nacional aparente de cana-de-açúcar, em mil toneladas.

*IPDC* é o índice de produção industrial para os derivados da cana-de-açúcar.

*P<sub>cana</sub>* é o preço de cotação da tonelada de cana-de-açúcar.

*PIB<sub>pc</sub>* é o PIB per capita brasileiro trimestral estimado a preços constantes.

A variável *IPDC* foi considerada com o intuito de captar o efeito do aumento da atividade industrial dos derivados da cana-de-açúcar para o aumento da demanda para esse bem. Como apresentado por Gonçalves e Coelho (2015), para essa variável e para a variável *PIB<sub>pc</sub>* esperam-se sinais positivos. Para a variável *P<sub>cana</sub>* o sinal esperado é negativo, representando a elevação do preço da cana e, conseqüentemente, a diminuição na sua procura.

A equação 4 representa o modelo sem restrições de quebra estrutural; a equação 5 representa o modelo de MQO para 1, ..., *j* quebras estruturais definidas no teste de Bai-Perron; e a equação 6 representa o modelo de MQO, considerando quebras estruturais, porém consideran-

do apenas uma variável *dummy* para os 1, ..., *j* períodos de quebra, e deixando os coeficientes  $\beta$ 's fixos ao longo do período.

Da mesma forma, para a demanda de açúcar serão consideradas três equações:

$$\ln DA = \alpha + \beta_1 \ln(P_{açúcar}) + \beta_2 \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_1 \quad (7)$$

$$\ln DA = \alpha + \beta'_{1j} \ln(P_{açúcar}) + \beta'_{2j} \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_2 \quad (8)$$

$$\ln DA = \alpha + \beta''_1 \ln(P_{açúcar}) + \beta''_2 \ln(PIB_{pc}) + \beta''_3 D_j + \varepsilon_3 \quad (9)$$

*DA* é a série da demanda nacional por açúcar, em mil toneladas.

*P<sub>açúcar</sub>* é o preço de cotação da saca de 50 kg do açúcar comercializado no País.

*PIB<sub>pc</sub>* é o PIB per capita brasileiro trimestral estimado a preços constantes.

Por último, para a demanda nacional por etanol, as três equações são

$$\ln DEt = \alpha + \beta_1 \ln(P_{gasolina\ c}) + \beta_2 \ln(P_{etanol}) + \beta_3 \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_1 \quad (10)$$

$$\ln DEt = \alpha + \beta'_{1j} \ln(P_{gasolina\ c}) + \beta'_{2j} \ln(P_{etanol}) + \beta'_{3j} \ln(PIB_{pc}) + \varepsilon_2 \quad (11)$$

$$\ln DEt = \alpha + \beta''_1 \ln(P_{gasolina\ c}) + \beta''_2 \ln(P_{etanol}) + \beta''_3 \ln(PIB_{pc}) + \beta''_4 D_j + \varepsilon_3 \quad (12)$$

*DEt* é a série da demanda nacional por etanol, em metros cúbicos.

*P<sub>gasolina c</sub>* é preço médio de revenda do litro da gasolina comum no mercado interno, considerada substituto do etanol.

*P<sub>etanol</sub>* é o preço médio de revenda do litro do etanol no mercado interno.

*PIB<sub>pc</sub>* é o PIB per capita brasileiro trimestral estimado a preços constantes.

<sup>6</sup> Em outras palavras, a quebra estrutural é uma mudança nos parâmetros da reta estimada. Ou seja, não se pode estimar uma única reta com toda a série dos dados. A diferença tanto pode ocorrer no intercepto como no coeficiente de inclinação da reta. A vantagem do método de Bai-Perron é que as quebras estruturais não são definidas ad hoc pelo pesquisador.

Depois de estimar os três modelos de regressão para a demanda dos três bens considerados, serão aplicados critérios para verificar que modelo se ajusta melhor aos dados na análise das elasticidades da demanda de cada bem. Essas análises serão baseadas nos critérios de  $R^2$  ajustado, na informação de Akaike, na informação de Schwarz e na informação de Hannan-Quinn.

### Testes realizados sobre as séries

A análise da elasticidade para os mercados de cana-de-açúcar, açúcar e etanol requer alguns testes sobre as séries temporais dos dados. O teste utilizado para detectar a presença de raiz unitária nas séries foi o Dickey-Fuller por mínimos quadrados generalizados, com a característica de ponderamento introduzida pelo GLS. O teste DF-GLS – como é conhecido – foi desenvolvido por Elliot et al. (1996) e é considerado um teste potente de segunda geração dos testes de raiz unitária.

A execução do DF-GLS considera a retirada de tendência determinística dos dados por meio de uma regressão por mínimos quadrados generalizados. Depois da retirada da tendência, o teste é executado com a hipótese nula de existência de raiz unitária. As hipóteses alternativas são decompostas em duas categorias (WOOLDRIDGE, 2006):

- $H_{a1}$  – a série não possui raiz unitária com tendência linear.
- $H_{a2}$  – a série não possui raiz unitária sem tendência linear.

O teste aplicado para identificar quebras ou mudanças na estrutura do modelo de regressão exponencial será o de Bai-Parron. Basicamente, o teste é aplicado sobre o modelo de MQO, estimando diferentes regressões, com subperíodos menores, avaliados como períodos de quebras, após a realização de um teste de mudança de coeficiente. Tem a vantagem de introduzir a consideração de quebras na variância da regressão, tornando-o, assim, o teste mais

criteroso de estabilidade de um modelo. Dito de outra forma, ele mostra se é possível estimar uma única reta de regressão ou se é preciso estimar mais de uma reta.

O teste de Bai-Parron é dividido em duas etapas. Na primeira, identifica-se o número de quebras no modelo de regressão. Na segunda, é realizado um teste de significância F sobre as quebras encontradas, considerando valores críticos de Bai-Parron (BAI; PERRON, 1998).

Cada quebra é identificada considerando o período que possui o maior coeficiente de determinação,  $R^2$ , entre o número de quebras estudadas. Assim, o número ótimo de quebras será aquele que maximiza o  $R^2$  para cada subperíodo considerado. O teste F de cada subperíodo é realizado considerando a razão da soma dos quadrados dos resíduos do modelo restrito (considerando quebras) sobre a soma dos quadrados dos resíduos do modelo irrestrito (modelo original sem quebra) (BAI; PERRON, 1998).

### Fonte de dados

Os dados relativos às séries de demanda aparente (ou consumo) de cana-de-açúcar, preço de cotação da cana-de-açúcar, demanda total e preço do açúcar foram obtidos no portal eletrônico da empresa União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica), com periodicidade mensal. A estimação da demanda aparente de cana-de-açúcar se dá, segundo notas metodológicas, pela necessidade produtiva do setor sucroalcooleiro, com base em informações dos produtores de derivados da cana.

As informações relativas à quantidade demandada de etanol no País e dos preços do etanol e da gasolina comum foram obtidas da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com periodicidade mensal, de setembro de 1999 a novembro de 2015, com estimativas para dezembro. A demanda por etanol, neste trabalho, foi considerada com a agregação das informações para todos os tipos produzidos para fins automotivos (hidratado e anidro).

As informações sobre o índice de produção para os derivados de cana-de-açúcar e do PIB a preços correntes foram colhidas no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com periodicidade trimestral. A estimativa do PIB per capita foi feita considerando a projeção de população brasileira anual a partir de janeiro de 2000, no site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Para cada trimestre foi obtida a taxa média de crescimento efetiva considerando a taxa de crescimento para com o ano anterior – posteriormente dividiu-se o PIB pela população estimada trimestralmente. O mesmo procedimento foi aplicado ao deflator implícito do PIB para se chegar à série de PIB per capita a preços constantes utilizada neste trabalho.

O período de análise definido foi do primeiro trimestre de 2000 ao quarto trimestre de 2015, sendo este último período uma projeção para os dados de demanda, o índice de produção dos derivados da cana e o PIB. Essas estimativas estão disponíveis nos endereços eletrônicos pesquisados. A transformação das séries de demanda em trimestral se deu pela soma dos três meses relativos a cada trimestre. Para a transformação das séries de preços em trimestral, optou-se pela agregação pela média mensal dos três meses relativos a cada trimestre de cada ano considerado.

## Resultados e discussão

Para todas as séries foi realizado o teste de Breusch-Goldfrey (BG) para a detecção da autocorrelação serial. Em todas as séries, a hipótese nula do teste não pode ser rejeitada ao nível de significância de 10%, ou seja, foi descartada a presença de autocorrelação, e as análises puderam seguir normalmente.

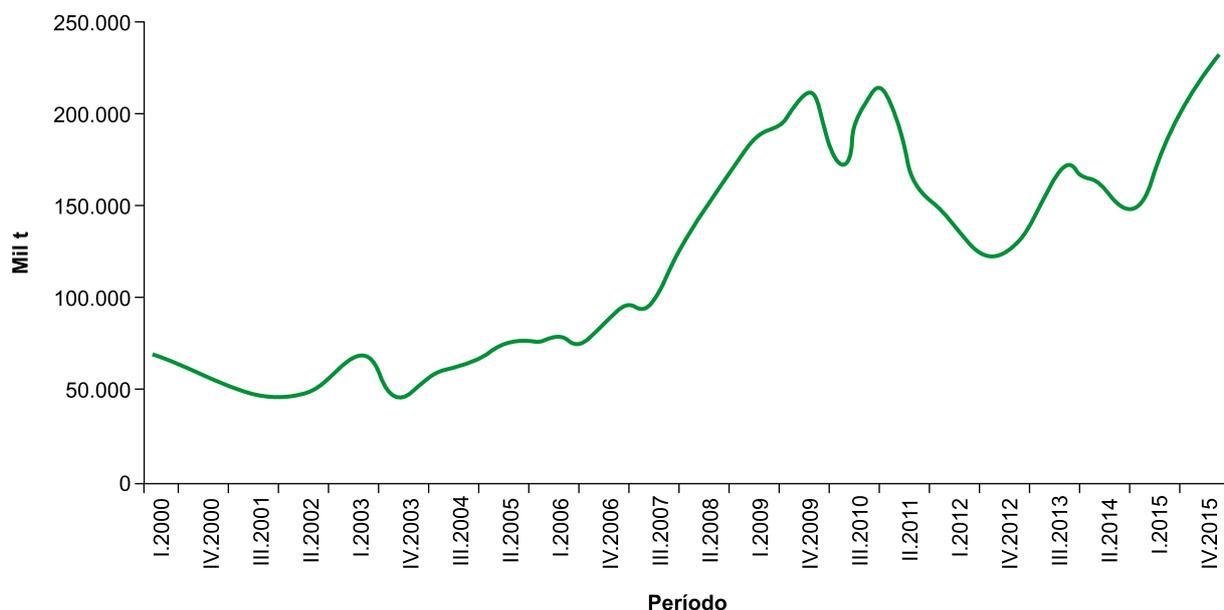
A Figura 1 mostra o comportamento do consumo aparente de cana-de-açúcar do primeiro trimestre de 2000 até o quarto trimestre de 2015. Na série de consumo de cana, as oscilações são visíveis, intercaladas com períodos de aumento e períodos de queda na quantidade total.

A tendência do consumo é crescente, passando de aproximadamente 66 milhões de toneladas, no primeiro trimestre de 2000, para 232 milhões de toneladas, no quarto trimestre de 2015. Ou seja, aumento de mais de 250%. A taxa média de aumento anual equivalente, com base nesse percentual, é de 3,92%.

A análise dos subperíodos que compõem essa série é importante para tentar relacionar influências de choques externos sobre a quantidade de consumo aparente de cana-de-açúcar. Entre o primeiro trimestre de 2000 e o segundo de 2002, a tendência do consumo de cana é decrescente, podendo ser relacionada com a ruptura da âncora cambial (então vigente no País como um dos pilares do Plano de Estabilização) no segundo semestre de 1999, acompanhada por sucessivas quedas do preço do petróleo. A soma desses fatores pode ter efeito significativo sobre a diminuição do comércio do produto.

Do terceiro trimestre de 2002 até o quarto trimestre de 2003, observa-se nova queda no consumo de cana, precedida por leve aumento. Mais uma vez, a explicação mais latente é a valorização cambial a partir do quarto trimestre de 2002, como efeito das mudanças políticas ocorridas no Brasil, afetando, assim, a demanda externa sobre a demanda de cana. Do primeiro trimestre de 2004 até o quarto trimestre de 2009, o movimento do consumo é crescente, resultado da ampliação das políticas de crédito e financiamento rural implementadas, bem como dos altos investimentos privados no setor sucroalcooleiro, realizados em consequência dos incentivos e das renúncias fiscais do governo federal no período. Como exemplo, pode ser citado o Programa BNDES de Apoio ao Setor Sucroalcooleiro, conhecido como BNDES PASS.

A partir do quarto trimestre de 2009, os resultados da crise mundial iniciada nos Estados Unidos atingem o mercado nacional de cana-de-açúcar, que, em consequência, sofre grande retração na demanda nacional. A estimativa, de acordo com os dados apresentados no gráfico, é que, de 2010 a 2012, a diminuição na quantidade total de cana consumida tenha sido de



**Figura 1.** Evolução do consumo aparente de cana-de-açúcar no Brasil de 2000 a 2015.

Consumo aparente estimado pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica) com base no volume comercializado no País. Os dados mensais foram transformados em trimestrais pela agregação dos três meses equivalentes a cada trimestre. As informações para novembro e dezembro de 2015 são estimativas.

Fonte: elaborada com dados de União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

32,54%, passando de 215.183,34 milhões de toneladas para 121.546,84 milhões de toneladas por trimestre.

A Figura 2 mostra a evolução do consumo total de açúcar no período analisado. A série do consumo de açúcar segue, basicamente, a mesma tendência da série anterior de cana-de-açúcar. Resultado esse esperado, já que a cana é a matéria-prima básica principal para a produção do açúcar. Algumas análises adicionais podem ser discutidas. Primeiramente, é possível que a tendência decrescente observada ao longo de 2003, mais forte para o mercado de açúcar, seja resultado da maior influência do choque cambial para esse produto, levando em consideração o encarecimento das importações de maquinário para a produção, posteriormente transmitido para o preço do açúcar, além do encarecimento das exportações de açúcar, com a baixa da taxa de câmbio.

Outra observação é o choque sobre a demanda a partir de 2009. A Figura 2 mostra que

o consumo de açúcar no período sofre queda menor do que quando comparado com a diminuição do consumo aparente de cana-de-açúcar. Esse resultado está relacionado com o fato de o açúcar ser um produto alimentício de grande peso na mesa dos brasileiros, principalmente nas classes mais baixas, com os substitutos apresentando preços mais elevados (adoçantes). Nesse caso, a demanda brasileira de açúcar pode ser relativamente inelástica às mudanças e aos choques externos sobre o produto nacional.

A Figura 3 mostra a evolução do comportamento da demanda nacional de etanol de 2000 a 2015. Do primeiro trimestre de 2000 até o segundo de 2002, o consumo brasileiro de etanol segue a mesma tendência decrescente da cana-de-açúcar e do açúcar. Além disso a tendência crescente das séries anteriores só ocorre aqui a partir do quarto trimestre de 2003, embora comece no primeiro trimestre do mesmo ano para o mercado de etanol. A evolução do consumo nacional acompanha a crescente tendência do mercado automotivo, passando de aproximada-

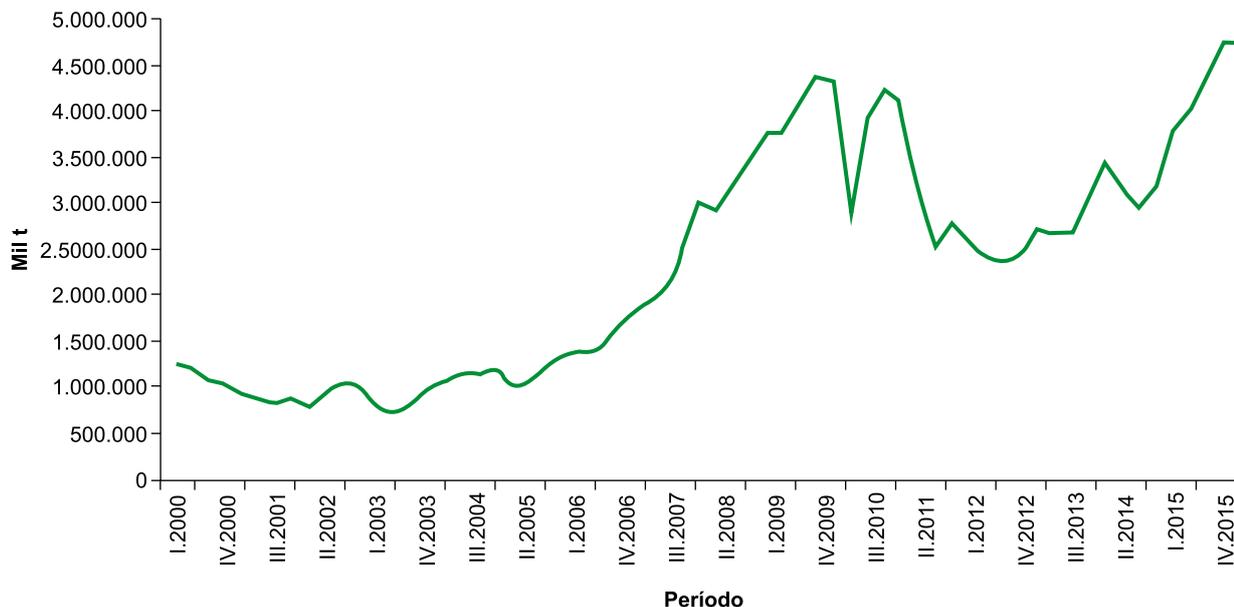
mente 1,2 milhão de metros cúbicos no primeiro trimestre de 2000 ara 4,7 milhões de metros cúbicos no quarto trimestre de 2015. Aumento em torno de 290% para a demanda nacional de etanol.

O menor consumo registrado foi no segundo trimestre de 2003, com aproximadamente 700 mil metros cúbicos. A maior variação negativa da série ocorre entre o quarto trimestre de 2009 e o segundo de 2010, quando a demanda



**Figura 2.** Evolução do consumo total de açúcar de todos os tipos no Brasil de 2000 a 2015.

Fonte: elaborada com dados de União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).



**Figura 3.** Evolução da quantidade total consumida de etanol no Brasil de 2000 a 2015.

Fonte: elaborada com dados de União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

nacional de etanol passa de 4,3 milhões de metros cúbicos para 2,8 milhões de metros cúbicos. A previsão de consumo para o quarto trimestre de 2015 é de 4,7 milhões de metros cúbicos, queda de 1,7%, tomando como referência o trimestre imediatamente anterior.

Parte-se, então, para a análise da estacionariedade das séries. De acordo com os resultados para o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado, ou ADF (Tabela 1), todas as séries apresentam estacionariedade em nível. Algumas não apresentaram raiz unitária com constante e tendência; outras com constante, e outras, ainda, sem constante. Desse modo, é rejeitada a hipótese nula de que as séries possuem raiz unitária e, assim, pode-se seguir com as estimações dos três modelos de demanda para a análise das elasticidades.

Os níveis de significância aplicados foram 10%, 5% e 1%. Para a série da quantidade aparente consumida de cana-de-açúcar no Brasil, ela foi estacionária a 1%, com tendência e constante, e a 5% e a 10%, com constante e sem constante, respectivamente. A série do consumo nacional do açúcar foi estacionária a 5%, com constante e tendência, e estacionária a 10%, com constante. Para essa mesma série, não se pode rejeitar a hipótese nula, considerando os dados

sem constante. Para a quantidade de etanol consumido, essa série foi estacionária ao nível de 1% de significância, considerando constante e tendência e apenas constante. A série também foi estacionária ao nível de 5% na especificação sem constante.

O preço nacional da cana-de-açúcar foi estacionário ao nível de 1%, com constante e tendência, e estacionário a 5%, com constante e sem constante. Para a série do preço nacional do açúcar, a estacionariedade foi observada ao nível de 1%, com constante e tendência, a 5%, com constante, e a 10%, sem constante. Já o preço do etanol foi estacionário a 1%, com constante e tendência e sem tendência, e a 5%, apenas com constante.

Para a série do preço interno da gasolina comum usada como substituta do etanol, ela foi estacionária ao nível de 1% nos três testes. A série trimestral do índice de produção dos derivados da cana-de-açúcar foi estacionária ao nível de 5% no modelo com constante e tendência e para a especificação com constante; para o modelo sem constante não se pode rejeitar e hipótese nula de existência de raiz unitária. O PIB per capita nacional a preços constantes foi estacionário ao nível de 1% no modelo com

**Tabela 1.** Estatística t do teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para as séries das variáveis utilizadas na análise da elasticidade nos três modelos.

Variável	Constante e tendência	Def.	Com constante	Def.	Sem constante	Def.
Consumo de cana-de-açúcar	-3,0647***	0	-1,9921**	5	-2,5284*	0
Consumo de açúcar	-4,0591**	8	-2,6384*	0	-3,3488	2
Consumo de etanol	-0,0217***	4	-0,0141***	4	-0,0179**	2
Preço da cana-de-açúcar	-1,7767***	5	-1,1548**	5	-1,4658**	2
Preço do açúcar	-1,6279***	2	-1,0582**	7	-1,3431*	0
Preço do etanol	-2,6905***	3	-1,7488**	3	-2,2197***	5
Preço da gasolina comum	-1,5660*	1	-1,0179*	2	-1,2919*	7
Derivados da cana	-2,1924**	5	-1,4251	8	-1,8088	1
PIB per capita	5,2588***	4	3,4182*	2	4,3385*	2

\*\*\*, \*\* e \* indicam, respectivamente, 1%, 5% e 10% de significância.

Fonte: elaborada com dados de Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017) e IBGE (2017).

constante e tendência e ao nível de 10% considerando as especificações com e sem constante.

O teste de Bai-Perron foi aplicado para os três modelos. Para cada um deles observou-se a existência de quebras estruturais nas estimações dos coeficientes para as variáveis explicativas (Tabela 2).

Para o modelo I, considerando a demanda aparente de cana-de-açúcar como função do índice de produção de derivados da cana, do preço da cana-de-açúcar e do PIB per capita, foi observada a existência de uma quebra no segundo trimestre de 2004. Considerando as estatísticas F e F (dispersão), o valor crítico do teste foi de 29,7101, estatisticamente significativo ao nível de 5%.

Para o modelo II, considerando a demanda de açúcar como função do preço do açúcar e do PIB per capita, foram observadas duas quebras estruturais nos períodos equivalentes ao segundo trimestre de 2005 e ao terceiro trimestre de 2008. Também considerando os dois tipos de estatística F, o valor crítico do teste foi de 15,7205, estatisticamente significativo ao nível de 1%.

No modelo III, considerando o consumo do etanol como função do seu preço, do preço da gasolina comum e do PIB per capita, foram encontradas três quebras nos períodos de tem-

po, equivalentes ao segundo trimestre de 2002, ao quarto trimestre de 2005 e ao primeiro trimestre de 2011. Para esse modelo, os valores da estatística F e F (dispersão) são estatisticamente significativos ao nível de 1%, com valor crítico de 18,9323.

Considerando as quebras fornecidas pelo teste de estabilidade estrutural e fazendo uma relação dessas com algumas características de cada período, a quebra no modelo I pode estar relacionada com a criação de linhas de financiamento e incentivos aos produtores do setor, pelo governo federal, por meio do BNDES, como o programa PASS. No modelo II, as quebras no segundo trimestre de 2005 e no terceiro trimestre de 2008 podem estar relacionadas, respectivamente, com incentivos e desoneração do setor açucareiro com o programa Reintegra, de dezembro de 2004, e com os primeiros impactos da crise mundial de 2008. As mesmas análises podem ser aplicadas ao mercado do etanol, considerando agora o período de valorização do preço do petróleo no mercado internacional, que encareceu a gasolina a partir do segundo trimestre de 2002.

A Tabela 3 mostra informações relacionadas ao melhor ajustamento entre os modelos de elasticidade. Entre as opções, pode-se estimar um modelo MQO tradicional, desconsiderando, assim, a questão de quebras estruturais; pode-se

**Tabela 2.** Teste de Bai-Perron para a seleção do número de quebras estruturais para o modelo de regressão.

Modelo	Nº. de quebras	F	F (dispersão)	Valor crítico
I	1	7,4275	7,4275	29,7101**
II	2	9,1523	27,4570	15,7205***
III	3	6,1927	24,7708	18,9323***
Quebras consideradas				
I	2000.T1-2004.T1	2004.T2-2015.T4	-	-
II	2000.T1-2005.T1	2005.T2-2008.T2	2008.T3-2015.T4	-
III	2000.T1-2002.T1	2002.T2-2005.T3	2005.T4-2010.T4	2011.T1-2015.T4

\*\*\*, \*\* e \* indicam, respectivamente, 1%, 5% e 10% de significância.

Fonte: elaborada com dados de Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017), IBGE (2017) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

**Tabela 3.** Comparação entre as três especificações do modelo para cada um dos bens, considerando a análise do melhor ajustamento.

Modelo	Especificação	R <sup>2</sup> ajustado	AIC	SC	HQ
I	Sem quebras	0,9935	-3,4405	-3,3056	-3,3873
	Com quebras	0,9955	-3,7411	-3,4712	-3,6348
	Com <i>dummies</i>	0,8199	-1,7144	-1,5289	-1,6414
II	Sem quebras	0,6443	0,3122	0,4134	0,3521
	Com quebras	0,8836	-0,7205	-0,4170	-0,6009
	Com <i>dummies</i>	0,7640	-0,2042	-0,0018	-0,1244
III	Sem quebras	0,6816	0,7156	0,8505	0,7687
	Com quebras	0,9418	-0,8772	-0,4725	-0,7178
	Com <i>dummies</i>	0,8117	-0,0808	0,1890	0,0255

AIC: Critério de informação de Akaike; SC: Critério de informação de Schwarz; HQ: Critério de informação de Hannan-Quinn.

Fonte: elaborada com dados de Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017), IBGE (2017) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

estimar um modelo considerando as quebras estruturais obtidas no teste de Bai-Perron; e pode-se estimar um modelo com *dummies* para cada período, considerando as quebras obtidas no referido teste.

Considerando essas três especificações, alguns critérios para selecionar o melhor modelo são resumidos em quatro categorias: R<sup>2</sup> ajustado, critério de informação de Akaike, critério de informação de Schwarz e critério de informação de Hannan-Quinn. Para o primeiro, considera-se o melhor ajustamento o modelo que apresenta o maior valor do R<sup>2</sup> ajustado; para os demais, a opção pelo melhor modelo se dá com o menor valor de cada critério.

No modelo I, para a quantidade demandada de cana-de-açúcar, o melhor modelo é o estimado com quebra estrutural, como pode ser observado pelo R<sup>2</sup> ajustado, e pelos menores valores dos critérios. No modelo II, para a análise da demanda de açúcar no Brasil, o modelo com duas quebras estruturais mostrou-se também o mais adequado quando comparado com o MQO sem quebras e com o modelo com variáveis *dummies* por períodos. No modelo III, para a demanda de etanol, o modelo considerando as três quebras estruturais do teste de Bai-Perron

também se apresentou como o melhor ajustamento e o de maior poder explicativo.

A Tabela 4 mostra o resultados para a demanda de cana-de-açúcar considerando as três especificações. O teste de White foi realizado e não se identificou heterocedasticidade ao nível máximo de 10% de significância. Os sinais dos coeficientes estão de acordo com o esperado para as variáveis, levando em consideração as três especificações. No modelo sem quebras, o coeficiente da variável PIB per capita não é estatisticamente significativo. O índice de produção dos derivados da cana mostra que o aumento de 1 ponto percentual na produção de derivados da cana tem o efeito positivo de aumentar a demanda por cana-de-açúcar em 0,99 ponto percentual, aproximadamente. O coeficiente de elasticidade-preço da demanda para esse caso mostra que a demanda de cana para esse modelo é considerada inelástica no limite.

No modelo com quebras estruturais, a influência da atividade produtiva dos derivados de cana-de-açúcar aumenta, depois do segundo trimestre de 2004, de 0,42 para 0,71 ponto percentual de resposta na demanda de cana para cada ponto percentual do aumento da produção dos derivados. A elasticidade-preço da demanda continua a ser inelástica depois do período de

**Tabela 4.** Modelo de elasticidade para o consumo aparente de cana-de-açúcar, especificado sem quebras, com quebras e com variável *dummy* para o período de quebra considerado.

Variável	Sem quebras	Com quebras		Com <i>dummy</i>
		00.T1-04.T1	04.T2-15.T4	
Constante	6,4248**	7,8305**	9,4209***	8,952*
<i>log</i> (derivados da cana)	0,9982***	0,4269**	0,7155***	0,4041**
<i>log</i> (preço da cana-de-açúcar)	-0,0054*	-1,1898***	-0,4741**	-0,3354*
<i>log</i> (PIB per capita)	0,0095	0,0542*	0,0176**	0,5096*
d1	-	-	-	-0,0225*

\*\*\*, \*\* e \* indicam, respectivamente, 1%, 5% e 10% de significância; d1 é a variável *dummy* para o período de quebra, observado no teste de quebra estrutural.

Fonte: elaborada com dados de Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017), IBGE (2017) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

quebra, com resposta a variações percentuais nos preços de 0,47. A elasticidade-renda, considerando o PIB, mostra-se abaixo de uma unidade antes e depois da quebra, e, no segundo período, aumento de 1 ponto percentual no PIB per capita tem o efeito de aumentar a demanda de cana em 0,0176 ponto percentual. Desse modo, a demanda de cana-de-açúcar também é inelástica às variações no PIB per capita, mas o sinal positivo indica que a cana-de-açúcar é um bem normal.

Considerando uma variável *dummy* para o período posterior à queda, essa mostra que, depois do segundo trimestre de 2004, o efeito do tempo sobre a demanda é negativo, deixando-a, assim, mais rígida às mudanças exógenas, ou seja, mais inelástica. Nesse caso, a variação negativa de 2,25% sobre a demanda de cana. Para a variável do índice de produção dos derivados da cana, a variação de 1 ponto percentual tem efeito de aumentar a demanda em 0,4041 ponto percentual. A demanda é inelástica ao preço, pois o aumento de 1 ponto percentual é refletido em uma diminuição na demanda em 0,3354 ponto percentual. Uma variação unitária percentual no PIB per capita também é refletida em uma resposta na demanda por cana em 0,5096 ponto percentual.

Para a demanda por açúcar, a Tabela 5 mostra o modelo sem quebras, estimado como

função das variáveis preço interno do açúcar e PIB per capita. Pelo teste de White, foi descartada a presença de heterogeneidade sobre os resíduos das regressões. O coeficiente da variável preço do açúcar não se mostrou estatisticamente significativo no seu efeito sobre a quantidade demandada do produto para o modelo sem quebras estruturais. A sensibilidade da demanda para com variações sobre o PIB per capita mostrou-se elástica e estatisticamente significativa ao nível de 10%. Nesse caso, o aumento de 1 ponto percentual no PIB tem o efeito de aumentar a demanda por açúcar em 1,0156 ponto percentual, ou seja, mais que proporcionalmente, significando, assim, que, para esse período, o açúcar pode ser considerado bem superior.

Considerando as quebras obtidas no teste de Bai-Perron, um aumento percentual unitário no preço do açúcar refletia queda de 0,2709 ponto percentual até o primeiro trimestre de 2005. No período da primeira quebra, a demanda passa a ser elástica, com coeficiente estimado de -1,0253, e, a partir do terceiro trimestre de 2008, volta a ser inelástica, com resposta de -0,6169 para o aumento de 1 ponto percentual no preço. Para o PIB per capita, até o primeiro trimestre de 2005, o aumento de 1 ponto percentual no PIB refletia-se em aumento de 0,1205 ponto percentual na demanda de açúcar. Esse coeficiente passa a ser de 0,1547 na primeira quebra relativa ao segundo trimestre de 2005. A

**Tabela 5.** Modelo de elasticidade para a quantidade consumida de açúcar, especificado sem quebras, com quebras e com variáveis *dummies* para os períodos de quebras considerados.

Variável	Sem quebras	Com quebras			Com <i>dummies</i>
		00.T1-2005.T1	05.T2-08.T2	08.T3-15.T4	
Constante	17,2525***	4,9694***	15,2767***	12,6474**	15,0587***
<i>log</i> (preço do açúcar)	-0,8216	-0,2709*	-1,0253**	-0,6169***	-0,8209***
<i>log</i> (PIB per capita)	1,0156*	0,1205*	0,1547***	0,0024***	0,3658*
d1	-	-	-	-	0,1043**
d2	-	-	-	-	-0,1113*

\*\*\*, \*\* e \* indicam, respectivamente, 1%, 5% e 10% de significância; d1 e d2 são variáveis *dummies* para os períodos de quebras, observados no teste de quebra estrutural.

Fonte: elaborada com dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2017), IBGE (2017) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

partir da terceira quebra, no terceiro trimestre de 2008, uma variação percentual no PIB per capita tem impacto quase nulo, estimado em 0,0024 ponto percentual sobre a demanda de açúcar nacional. Isso corrobora a justificativa para a menor variação, quando comparada com os casos da cana e do etanol, como efeitos da crise mundial a partir de 2008. Nesse caso, em todas as situações, é um bem normal e, no modelo que ignora as quebras, é um bem superior. Essas estimações estão de acordo com o trabalho de Gonçalves e Coelho (2015).

No modelo com *dummies* por período de quebra, um aumento unitário percentual no preço do açúcar tem como resposta queda da demanda de aproximadamente 0,82 ponto percentual. A elasticidade para variações no PIB per capita é menor do que uma unidade, estimada em 0,3658. Para os coeficientes das variáveis binárias, na primeira quebra entre o segundo trimestre de 2005 e o segundo trimestre de 2008, o sinal positivo do coeficiente d1 diz que, nesse período, a demanda foi deslocada para cima, refletindo um aumento. O sinal negativo e estatisticamente significativo de d2 mostra exatamente o contrário para o período que se inicia a partir do terceiro trimestre de 2008, ou seja, a demanda foi deslocada para baixo nesse período. Assim, observa-se, respectivamente, aumento de

aproximadamente 10% e queda de aproximadamente 11% sobre a demanda de açúcar.

A Tabela 6 mostra o modelo para a demanda nacional de etanol. Também não foi detectada a presença de heterogeneidade sob a perspectiva do teste de White. Considerando o modelo de MQO sem quebras, os coeficientes do preço do etanol e do PIB per capita não se mostraram estatisticamente significativos, ou seja, nessa especificação, essas variáveis não têm efeito sobre a demanda de etanol. O sinal do coeficiente do preço da gasolina comum, considerada bem substituto, foi negativo, igual a -0,6825, mostrando-se, assim, contrário ao discutido pela teoria.

No modelo de MQO com quebras estruturais, o preço da gasolina não tem influência na quantidade demandada de etanol antes da primeira quebra. Para o preço do etanol, um aumento unitário percentual é refletido em uma diminuição da demanda em 0,1385 ponto percentual. A demanda é altamente elástica a uma variação no PIB per capita antes da primeira quebra, com coeficiente estimado em 1,8473, e estatisticamente significativo ao nível de 10%, significando, assim, que o etanol pode ser analisado como bem superior para esse período, bem semelhante aos resultados obtidos por Gonçalves e Coelho (2015).

**Tabela 6.** Modelo de elasticidade para a quantidade consumida de etanol, especificado sem quebra, com quebras e com variáveis *dummies* para os períodos de quebras considerados.

Variável	Sem quebras	Com quebras				Com <i>dummies</i>
		00.T1-02.T1	02.T2-05.T3	05.T4-10.T4	11.T1-15.T4	
Constante	23,5187**	5,7148**	13,7644***	19,7155*	47,167***	13,4393***
<i>log</i> (preço da gasolina C)	-0,0969**	-0,3115	0,1711**	3,7527**	1,2492*	0,0554*
<i>log</i> (preço do etanol)	-1,0475	-0,1385***	-0,4379**	-0,3486**	-2,8038**	-0,5984
<i>log</i> (PIB per capita)	-0,6825	1,8473*	0,0144***	0,0041*	0,3778	0,3933
d1	-	-	-	-	-	-0,1113*
d2	-	-	-	-	-	-0,3677*
d3	-	-	-	-	-	-0,3052***

\*\*\*, \*\* e \* indicam, respectivamente, 1%, 5% e 10% de significância; d1, d2 e d3 são variáveis *dummies* para os períodos de quebras observados no teste de quebra estrutural.

Fonte: elaborada com dados de Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2017), IBGE (2017) e União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2017).

Na primeira quebra, que vai do segundo trimestre de 2002 ao terceiro trimestre de 2005, o aumento percentual de uma unidade no preço da gasolina tem efeito de aumentar a demanda por etanol em 0,1711 ponto percentual. A elasticidade-preço da demanda é menor que uma unidade, estimada em -0,4379. A elasticidade da demanda de etanol para o PIB per capita também é menor que uma unidade, estimada em 0,0144, ou seja, é considerado como bem normal.

Para a segunda quebra, que vai do quarto trimestre de 2005 ao quarto trimestre de 2010, o aumento percentual de uma unidade no preço da gasolina tem efeito de aumentar a demanda por etanol em 3,7527 pontos percentuais. Isso mostra o aumento e o ganho do mercado desse produto em relação à gasolina comum, com o aumento dos carros *flex*, como discutido no trabalho de Oliveira et al. (2008), bem como consequência da competitividade do álcool em relação à gasolina, possivelmente como efeito da política de controle do preço da gasolina, que diminui a competitividade do álcool. A elasticidade-preço da demanda ainda é menor que uma unidade, estimada em -0,3486, também mostrando o aumento da sensibilidade para com seu preço. A elasticidade da demanda de etanol para o PIB per capita também é menor que uma

unidade e muito próxima de zero, estimada em 0,0041.

Para a terceira quebra, a partir do primeiro trimestre de 2011, a elasticidade cruzada com a gasolina comum foi estimada em 1,2492. A elasticidade-preço da demanda também foi bastante superior a uma unidade, estimada em -2,8038. O PIB per capita não mostrou coeficiente de elasticidade estatisticamente significativo, ou seja, não teve influência sobre a quantidade demandada nesse período.

No modelo com variáveis *dummies*, a elasticidade cruzada foi estimada em 0,0554 ponto percentual para cada aumento unitário no preço da gasolina. As variáveis preço do etanol e PIB per capita têm sinais de acordo com o esperado, mas não foram estatisticamente significativas, não tendo, desse modo, influências para esse modelo sobre a demanda nacional de etanol. Na análise das variáveis binárias, todas as três apresentaram sinais negativos, significando, assim, que a demanda por etanol foi deslocada para baixo nos três períodos consecutivos.

## Considerações finais

O mercado da cana-de-açúcar brasileira passou por uma série de mudanças nas últimas

três décadas. Tais mudanças refletem não só o mercado do açúcar como também questões atinentes à economia e à sociedade. Observou-se que a quantidade total do consumo da cana, do açúcar e do etanol apresentou oscilações visíveis, intercaladas com períodos de aumento e queda. A análise dos subperíodos que compõem a série foi importante para indicar possíveis efeitos de choques externos sobre a quantidade de consumo aparente de cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi estimar a elasticidade-preço e a elasticidade-renda da cana, do açúcar e do etanol, e a elasticidade-preço cruzada do etanol, sabendo que a cana-de-açúcar é a matéria-prima, enquanto o açúcar e o álcool são bens concorrentes, vendidos no mercado interno brasileiro. O período analisado vai do primeiro trimestre de 2000 ao quarto trimestre de 2015, período em que se observou haver quebra estrutural nas relações entre as variáveis consideradas. O método de MQO com quebras estruturais identificadas pelo método de Bai-Perron permitiu identificar uma quebra para a série da cana, duas para o açúcar e três para o álcool. O procedimento com quebras mostrou-se estatisticamente o mais adequado.

A estimação das elasticidades preço e renda e preço cruzadas mostrou-se sensível às quebras estruturais. Observaram-se mudanças tanto na magnitude quanto na significância dos coeficientes dos modelos estimados, a depender do período considerado, enaltecendo-se, dessa forma, a importância da utilização da metodologia utilizada.

Além disso, o uso da estimação dos modelos com quebras estruturais é corroborado pela análise gráfica das séries das variáveis, em que também foi possível identificar os efeitos de políticas públicas que influenciaram o comportamento das variáveis em subperíodos distintos, quando esses efeitos se fizeram presentes.

A desconsideração das quebras estruturais pode, portanto, levar à estimação dos valores dos parâmetros nas equações de demanda, de forma inadequada. Se essas estimativas fossem

levadas a efeito para a adoção de políticas públicas setoriais, elas poderiam causar grandes distorções nesses mercados.

Desse modo, no contexto da elasticidade, considerar quebras ao longo dos períodos analisados tem relevância por permitir a aferição da sensibilidade da demanda dos bens em diversos períodos, com choques exógenos em suas variáveis explicativas, como preço, preço de bens substitutos e no produto per capita do País. Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de cointegração entre as séries, para captar efeitos contemporâneos e de longo prazo entre as variáveis.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2017.
- ALVES, L. R. A.; BACHI, M. R. P. oferta de exportação de açúcar do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 9-33, 2004.
- BAI, J.; PERRON, P. Estimating and testing linear models with multiple structural changes. **Econometrica**, v. 66, n. 1, p. 47-78, 1998.
- BARBOSA, C. R.; QUEIROZ, I. A.; ALVES, A.V. S.; SOARES, N. S. Análise econométrica da oferta de exportação brasileira de cana-de-açúcar no período de 1978 a 2008. In: SEMANA DO ECONOMISTA E EGRESSOS, 4., 2014, Ilhéus. **Resumos...** Ilhéus: Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2014.
- BARROS, G. S. D. C.; BACCHI, M. R. P.; BURNQUIST, H. L. **Estimação de equações de oferta de exportação de produtos agropecuários para o Brasil (1992/2000)**. [S.l.]: Ipea, 2002. (Texto para discussão, 865).
- ELLIOT, G.; ROTHENBERG, T. J.; STOCK, J. H. Efficient test for an autoregressive unit root. **Econometrica**, v. 64, n. 4, p. 813-836, July 1996.
- GALLET, C. A. The income elasticity of meat: a meta-analysis. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, n. 54, p. 477-490, 2010.
- GONÇALVES, A. C. R. V.; COELHO, P. S. Análise do mercado sucroalcooleiro e das elasticidades preço e renda da demanda por etanol hidratado. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 53., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sober, 2015.

IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**, 2013. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

JUNIOR, L. J. C.; BONE, R. B. Demanda de cana-de-açúcar, açúcar e etanol revisitada. São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010 São Carlos. **Anais...**São Carlos: Abrepo, 2010.

MELZ, L. J.; FILHO, P. J. M.; GASTARDELO, T. A. R. Elasticidade da demanda da carne bovina brasileira no mercado internacional: evidências de quebras estruturais. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 52., 2014, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sober, 2014.

OLIVEIRA, P. M.; ALENCAR, R. J.; SOUZA, S. G. Energia renovável: uma análise sobre a oferta e demanda de etanol no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2008, Rio Branco. **Anais...**, Rio Branco: Sober, 2008.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D.L. **Econometric models and econometric Forecasts**. 4. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2004. 24 p.

RESENDE FILHO, M. D. A.; BRESSAN, V. G. F.; BRAGA, M. J.; BRESSAN, A. A. Sistemas de equações de demanda por carnes no Brasil: especificação e estimação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 1, jan./mar. p. 33-50, 2012.

SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canaveira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 43-57, out./nov./dez. 2014.

SCHLESINGER, S. **Biocombustíveis**: energia não mata a fome. Mato Grosso: ActionAid, 2014. p. 1-40.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria**: uma abordagem moderna. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006. 684 p.