

A Evolução da Produção de Etanol no Brasil, no Período de 1975 a 2009

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a evolução da produção brasileira de etanol, no período de 1975 a 2009. Mais precisamente, realiza uma análise da evolução da área colhida, produção e rendimento da cana-de-açúcar, da produção e dos preços do etanol, da gasolina e do açúcar e o grau de associação existente entre essas variáveis. Verifica o impacto do preço do etanol, do rendimento da cana e do custo da produção do etanol na produção brasileira de etanol no período Pós-Plano Real, compreendido entre 1995 a 2009. Os resultados quanto à evolução da cana-de-açúcar demonstram que a variável produção foi a que obteve o maior crescimento ao longo de todo o período estudado, seguida da área colhida e do rendimento médio. Na análise do etanol, verifica que a sua quantidade produzida foi a que obteve o maior crescimento. O exame quanto aos fatores determinantes da produção de etanol revela que o rendimento da cana-de-açúcar influenciou-os positivamente, enquanto o custo de produção de etanol exerceu um efeito negativo sobre sua produção.

PALAVRAS-CHAVE

Etanol. Proálcool.

Michele Gomes da Cruz

- Economista, graduada pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Eziquiel Guerreiro

- Professor do Departamento de Economia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Augusta Pelinski Raiher

- Professora adjunta do Departamento de Economia UEPG.
- Doutora em Economia pela Universidade Federal do Rio do Sul.

1 – INTRODUÇÃO

O aumento e a volatilidade dos preços do petróleo, juntamente aos esforços mundiais para a redução de gases de efeito estufa, levaram inúmeros países a buscarem alternativas para suas matrizes energéticas. Procura-se, dessa maneira, substituir o petróleo por outras fontes alternativas de energia, de preferência as renováveis.

No Brasil, o etanol¹ é consumido em larga escala como combustível há mais de três décadas. O país é pioneiro na implantação de programas de estímulo a biocombustíveis, com ênfase no Proálcool,² lançado em 1975. O programa permitiu o desenvolvimento do mercado brasileiro, possibilitando ao país alcançar grande escala e competitividade na produção de etanol. Favoreceu ainda a instalação de uma infraestrutura adequada para a comercialização de etanol hidratado puro, paralelamente à comercialização de gasolina misturada ao etanol anidro. (MENDONÇA, 2008).

O Proálcool é conhecido mundialmente como o programa de maior efeito na promoção de biocombustíveis. Analisar a eficácia de tal programa é de fundamental importância para a formulação de políticas públicas, não somente na área de energia, mas em todos os setores da economia. Tal programa pode ser considerado ainda como o maior do mundo em utilização comercial da biomassa para produção e uso de energia, mostrando a viabilidade desta técnica da produção em larga escala do etanol a partir da cana-de-açúcar e do seu uso como combustível automotivo. (LA ROVERE, 2000 apud MENDONÇA, 2008).

Em 2003, a indústria automotiva desenvolveu os veículos *flex* como estratégia para o aumento do consumo do álcool combustível, sendo amplamente aceitos esses automóveis no mercado. É importante ressaltar que, de acordo com Moreira (2008), o consumo de etanol tem aumentado nos anos recentes, devido a ser a relação de preços, na maioria das vezes, favorável ao etanol.

1 Biocombustível produzido a partir da cana-de-açúcar.

2 Conforme Mendonça (2008), Programa Nacional do Álcool.

No ano de 2007, a cana-de-açúcar passou à categoria de segunda mais importante fonte de energia da matriz energética brasileira, perdendo apenas para o petróleo. O valor bruto da produção do setor de cana-de-açúcar alcançou em torno de R\$ 21,2 bilhões, inferior apenas ao setor de carne bovina e da soja.

O número de empregos formais também cresceu de forma significativa no setor. Entre os anos de 2000 e 2005, foram criados 340 mil novos empregos formais no setor sucroalcooleiro. (MOREIRA, 2008 apud MORAES, 2007). Em termos energéticos, a produção de etanol gera de 15 a 21 vezes mais empregos que a produção equivalente de petróleo. (GOLDEMBERG, 2010 apud LUCON; GOLDEMBERG, 2012).

Considerando a importância econômica e energética do etanol para o país, então, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a evolução da produção brasileira e seus determinantes, no período de 1975 a 2009. Mais precisamente, visa-se analisar a evolução da área, produção e rendimento da cana-de-açúcar; descrever a evolução da produção de etanol no Brasil, bem como dos preços do etanol, da gasolina e do açúcar; o grau de relação entre estas variáveis; e identificar os principais fatores condicionantes da produção de etanol no Brasil, no período compreendido entre 1995 a 2009.

Para isto, este artigo apresenta cinco seções, incluindo esta. Na segunda seção faz-se um breve histórico sobre a produção de etanol no Brasil. Na sequência, apresentam-se os elementos metodológicos deste estudo. Na terceira seção, é feita a análise, findando com as considerações finais.

2 – HISTÓRICO DA PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL

No ano de 1973, ocorreu o primeiro choque do petróleo, resultado de um conflito entre Israel, Egito e Síria, o qual teve perturbações de alcance internacional. É importante ressaltar que esses países situam-se em áreas próximas a países produtores de petróleo, ocasionando, desta maneira, elevação de seu preço. Em decorrência desse fato, houve deterioração do balanço de pagamentos e aumento da inflação no Brasil, dado que se importavam 80% do petróleo usado. Diante desse quadro, o governo

procurou maneiras alternativas para diminuir a dependência do país ao combustível, além de buscar abrandar os efeitos do choque na economia brasileira. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Como salienta Holanda (2004), em virtude das crises do petróleo de 1973, o governo criou o Proálcool, que tinha as seguintes metas a serem alcançadas: garantir o abastecimento de combustível para o país; fazer a substituição da gasolina por um combustível renovável; e desenvolver tecnologicamente a indústria da cana-de-açúcar e do álcool.

O Programa Nacional do Álcool foi criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto nº 76.593, objetivando a produção de álcool para atender a demanda do mercado interno e externo e as necessidades da política de combustíveis automotivos. Conforme o decreto, a produção de álcool proveniente da cana-de-açúcar, ou de qualquer outro insumo, deveria ser incentivada por intermédio do aumento da oferta de matérias-primas, enfatizando a expansão da produção agrícola, com o estabelecimento de novas unidades produtoras e a modernização e ampliação das já existentes.

Em 1975, o governo brasileiro decidiu incentivar a produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar em substituição à gasolina pura, buscando minimizar as importações de petróleo. Nesse período, o açúcar, no mercado internacional, tinha cotação baixa e vinha decaindo de forma repentina, o que fez com que o álcool fosse produzido em lugar do açúcar. No decorrer do Programa Nacional do Álcool, cinco fases distintas são percebidas, as quais são apresentadas na sequência.

2.1 – Primeira Fase: 1975 a 1979

Nessa fase inicial foi intensificada a produção de álcool anidro para ser utilizado como aditivo à gasolina, reduzindo a importação de petróleo e, conseqüentemente, diminuindo o déficit no balanço de pagamentos. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008). É importante frisar que a sua implementação se deu devido à crise do açúcar no mercado mundial, surgindo como um programa de energia alternativa. Esse período se inicia com o surgimento do Proálcool até o denominado “segundo choque do petróleo.” (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

Em seu início, o Proálcool esteve fortemente relacionado às políticas públicas que tinham como objetivo estimular a produção e o uso de etanol no Brasil. O investimento público chegou a 90% do necessário para se construir uma nova destilaria e 100% para aumentar a área cultivada de cana-de-açúcar. (MENDONÇA, 2008).

Entre as condições, extremamente propícias para o produtor, podem-se destacar: taxas de juros negativas; carência de três anos para o pagamento dos empréstimos; e doze anos para o pagamento total dos empréstimos. De acordo com Michellon; Santos e Rodrigues (2008), o governo, através da Petrobras, era quem determinava o preço de venda do etanol. Foram estabelecidos preços mínimos mais atrativos para o etanol em relação ao preço do açúcar, política essa que representou um alto subsídio para a produção de cana-de-açúcar e de álcool. Para o consumidor, a diminuição da tributação possibilitou que o preço do álcool nas bombas, em termos de combustível por quilômetro rodado, ficasse sempre menor que o da gasolina. (LA ROVERE, 1981 apud MENDONÇA, 2008)

Nesta primeira fase do Proálcool, devido ao investimento no setor, além do aumento das destilarias anexas³ e autônomas⁴ no país, houve um crescimento da produção de álcool, em decorrência da ampliação da capacidade instalada das destilarias anexas já existentes.

Conforme Bray; Ferreira e Ruas (2000), as destilarias anexas receberam mais investimentos do que as destilarias autônomas em virtude de o Proálcool ter surgido primeiramente com a intenção de resolver o problema do usineiro nacional, devido à crise açucareira.

Segundo Proálcool... (2010), a produção alcooleira aumentou de 600 milhões de litros/ano entre 1975 a 1976 para 3,4 bilhões de litros/ano de 1979 a 1980.

Como fortes pontos positivos dessa primeira fase, é possível destacar o surgimento dos primeiros veículos

3 Novas unidades industriais montadas junto às tradicionais usinas de açúcar do país. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

4 Destilarias montadas pelos novos usineiros do Proálcool, sendo que a maior parte desses grupos não possuía tradição no setor açucareiro. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

movidos exclusivamente a álcool, no ano de 1978, e a geração de emprego e renda advindo do aumento da oferta de mão de obra no campo. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Conforme Michellon; Santos e Rodrigues (2008), a primeira fase termina com a expansão moderada do Proálcool, devido a incertezas dos usineiros, que contavam com um aumento do preço do açúcar no mercado internacional, e da indústria automobilística no que diz respeito à viabilidade do programa.

2.2 – Segunda Fase: 1980 a 1986

Em 1979, houve novo conflito no Oriente Médio entre Irã e Iraque, que fez com que o petróleo atingisse preços muito mais elevados, eclodindo o segundo choque do petróleo e marcando a segunda fase do Proálcool. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Nesta fase, o Proálcool passou a exercer uma importância mais expressiva e, de certa forma, rompeu com a questão da primeira fase, a qual envolvia a solução dos problemas dos produtores do subsetor⁵ devido à crise açucareira, passando a ser um programa efetivamente alternativo quanto à substituição de energia. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000). O governo passou a estimular, além da produção de álcool anidro, a produção de álcool hidratado para ser utilizado no consumo de veículos movidos exclusivamente a álcool e para utilização do combustível nos setores químicos. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Esta fase é considerada como a de afirmação do programa, tendo em vista que, neste período, o governo decidiu aprovar medidas para a completa consolidação do Proálcool, consolidação essa que foi buscada em decorrência do aumento do preço do petróleo, com o segundo choque, cujo valor do barril triplicou e as importações desse produto passaram a representar 46% do total de importações brasileiras em 1980. (PROÁLCOOL..., 2010).

Com o intuito de estimular a produção de álcool e disseminar o consumo de veículos movidos a álcool, o governo adotou algumas medidas:

- frota de veículos do governo predominantemente a álcool;
- fixação de 20% a mistura de álcool à gasolina;
- aumento da revenda de álcool hidratado com preço estipulado em, no máximo, 65% do preço da gasolina;
- diminuição de alíquotas de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) para veículos a álcool;
- isenção de IPI para táxis a álcool; e
- Redução na paridade de 60kg de açúcar por 44 litros de álcool, para 60kg de açúcar por 38 litros de álcool, tornando mais vantajoso produzir álcool. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Essa segunda fase foi relevante para o desempenho do programa, marcando seu auge e expansão e posterior declínio em meados de 1985. O governo atingiu seu objetivo, o qual visava consolidar o programa como alternativa à substituição de energia. As metas foram alcançadas no que diz respeito à produção e ao consumo de álcool hidratado, tendo ocorrido redução de custos de obtenção do álcool frente à gasolina. No entanto, a tecnologia continuou em segundo plano, dificultando o aumento da produtividade do setor. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Nessa segunda fase, houve grande crescimento da produção alcooleira, resultado direto do aumento da capacidade produtiva das novas destilarias autônomas instaladas.

O marco do Proálcool para esse período pode ser considerado o ano de 1985, pois foi alcançado o maior percentual de vendas de veículos movidos a álcool, com 92,7% do total de veículos produzidos e comercializados no mercado interno. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

Para Silva (2006 apud MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008), no final dessa fase, o preço do petróleo tendeu à estabilidade, o mercado de açúcar

⁵ Setor de produção de açúcar.

estava em ascensão e a realidade econômica do país era crítica, em virtude da crescente deterioração das suas condições econômicas e sociais. Portanto, a partir de 1985, o governo começa a diminuir os investimentos no programa.

2.3 – Terceira Fase: 1986 a 1995

Esse período compreende a fase de estagnação do programa, dada a mudança no mercado petrolífero, em 1986, com a queda nos preços do barril de petróleo. Os efeitos foram sentidos no Brasil a partir de 1988; simultaneamente ao espaço de tempo decorrido, houve a falta de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos combustíveis alternativos, resultando em uma sensível queda no volume de produção de energia.

Foram interrompidos pelo governo os financiamentos e subsídios para as novas destilarias do Proálcool e as empresas passaram a operar de acordo com as condições existentes. O Programa Nacional do Álcool continuou como um plano de energia alternativa e de substituição à gasolina, mas com perspectivas pouco definidas e problemas institucionais até fins dos anos de 1995. Até a safra de 1993/1994, houve estagnação na produção alcooleira nacional e, nas seguintes, obteve-se um pequeno crescimento em relação à safra 1985/1986. Essa estagnação, segundo Bray; Ferreira e Ruas (2000), foi resultado do deslocamento da matéria-prima (cana-de-açúcar) para fabricação de açúcar.

A produção de álcool cresceu menos que a sua procura, com as vendas de veículos a álcool, em 1985, alcançando níveis superiores a 95,8% das vendas totais de veículos de ciclo Otto para o mercado interno. (PROÁLCOOL..., 2010).

O aumento da produção interna de álcool foi impedido devido à queda brusca dos preços internacionais do petróleo,⁶ que tornava baixo o retorno aos produtores visto que os preços pagos a eles eram baixos. Análogo a isso, o preço baixo do etanol, comparativamente ao da gasolina, e a manutenção de menores impostos para os automóveis a álcool contribuíram para estimular a procura dos

6 Que se iniciou no fim de 1985.

consumidores. Essa combinação do desestímulo à produção e estímulo à demanda de álcool ocasionou a crise de abastecimento da entressafra de 1989-90. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

Apesar de transitória, essa crise afetou a credibilidade do Proálcool, reduzindo os estímulos ao uso do álcool, provocando, nos anos seguintes, uma forte queda na sua demanda e, conseqüentemente, nas vendas de veículos movidos por esse combustível.

Em 1990, o percentual de venda de veículos movidos a álcool declinou para 12,4% em decorrência da crise de abastecimento do álcool de 1989, provocando descrédito do mercado quanto ao abastecimento futuro e também por aspectos políticos. De acordo com Bray; Ferreira e Ruas (2000), a posse do governo Collor e o atrito que este estabeleceu com a indústria automobilística, quando afirmou que no Brasil só se produziam “carroças”, constituíram os aspectos políticos negativos.

Como consequência, em 1990, o Brasil foi obrigado a importar álcool hidratado para o pleno abastecimento dos postos. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000). Essa crise de abastecimento do álcool somente foi superada com a introdução no mercado da mistura MEG.⁷ Essa mistura⁸ sujeitaria o país a efetuar importações de etanol e metanol a fim de garantir o abastecimento do mercado na década de 1990. (PROÁLCOOL..., 2010).

2.4 – Quarta Fase: 1996 a 2000

A fase de redefinição do Proálcool coincide com a liberação dos mercados de álcool combustível⁹ em todas as suas fases de produção, distribuição e revenda, com seus preços sendo determinados pelas condições de oferta e procura. (PROÁLCOOL..., 2010).

No início do programa, o preço dos combustíveis no Brasil era regulado pelo governo, que tinha a Petrobras como agente principal do setor. Apenas em maio de 1997, os preços do álcool anidro deixaram de ser controlados e, em fevereiro de 1999, o mesmo ocorreu

7 Que substituiu com desempenho igual o álcool hidratado.

8 60% de álcool hidratado, 34% de metanol e 6% de gasolina.

9 Tanto anidro como o hidratado.

com os preços do álcool hidratado. (GOLDEMBERG, 2010 apud MENDONÇA, 2008).

Com o preço do açúcar reagindo no mercado internacional e o menor incentivo do governo para a produção de álcool, os usineiros foram levados a priorizar a produção de açúcar em detrimento à de álcool. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

No início do ano de 1996, o setor passou por uma nova crise financeira, com discussão de uma retomada do Programa Nacional do Álcool, com previsão de terminar os subsídios dados ao setor. (BRAY; FERREIRA; RUAS, 2000).

Em 1999, o Proálcool se caracterizava como um programa em crise, sendo que a origem dessa crise advinha da época da sua criação, pois foi instituído com fortes subsídios ao setor produtivo e a diminuição parcial desses subsídios levou à quebra de algumas unidades. (MENDONÇA, 2008).

2.5 – Quinta Fase: A Partir de 2000

Nesta última fase, após ascensão e declínio, quando o Proálcool parecia fadado ao fracasso, o programa ganhou novo fôlego, decorrente, em parte, do novo aumento do preço do petróleo no mercado internacional, da conscientização do Protocolo de Kyoto e do surgimento dos veículos *flexfuel*. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

A nova alta no preço do petróleo retomou a discussão da dependência do combustível fóssil, estimulando a busca de fontes alternativas renováveis de energia. Houve também, a maior conscientização sobre o Protocolo de *Kyoto*¹⁰, reativando os projetos de substituição de combustíveis fósseis pelos renováveis, os quais são menos poluentes. Em março de 2003, foi lançado no mercado brasileiro o veículo bicombustível, movido tanto a álcool como a gasolina, tecnologia conhecida como *flex fuel*, que chegou para estimular a demanda doméstica de álcool. Hoje, a opção já é ofertada para quase todos os modelos das indústrias e, os veículos bicombustíveis ultrapassaram pela primeira vez os movidos a gasolina no mercado interno. Em

decorrência das elevadas cotações do preço do petróleo no mercado internacional, a indústria tem a expectativa de que essa participação aumente ainda mais. Destaca-se que a relação de preços faz com que o usuário dos modelos bicombustíveis dê preferência ao álcool. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008).

O Brasil presenciou um aumento dos canaviais, com o objetivo de ofertar, em elevada escala, o combustível alternativo e renovável. O plantio vem avançando adiante nas tradicionais áreas do interior de São Paulo e do Nordeste, espalhando-se pelos cerrados. A iniciativa privada é quem lidera essa corrida para ampliação de unidades e construção de novas usinas, confiante de que, a partir de agora, o álcool terá cada vez mais importância como combustível no Brasil e no mundo. (PROÁLCOOL..., 2010).

3 – ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 – Coleta dos Dados

Para a contextualização do cenário do mercado sucroalcooleiro, utilizaram-se dados anuais, em nível de Brasil, do período compreendido desde os anos de 1975 a 2009 (por essa data marcar o início do Proálcool), referentes: à produção do etanol e do açúcar; ao preço do etanol, da gasolina e do açúcar; ao rendimento e à área colhida da cana-de-açúcar.

A fim de estabelecer os principais fatores determinantes da produção de etanol no Brasil, os dados utilizados para o modelo de regressão situaram-se apenas nos anos de 1995 a 2009 em virtude da estabilização econômica que se teve a partir desse período, ressaltando que, em anos anteriores, o país sofria com sucessivas trocas de moeda e elevada taxa de inflação. Como se faz necessário estudar a magnitude da influência de algumas variáveis na produção de etanol em um contexto de estabilidade econômica, então, consideraram-se apenas os dados a partir de 1995 até 2009.

As fontes utilizadas foram o Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada (Ipea), o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a Agência

¹⁰ Tratado internacional, que tem por objetivo principal conseguir que os países desenvolvidos reduzam em 5% a emissão de gases causadores do efeito estufa em relação ao nível de emissão de 1990, entre 2008 e 2012.

Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o Instituto de Economia Agrícola (IEA) e a União da Indústria de Cana-de-açúcar (Unica).

Os valores nominais foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) – da Fundação Getúlio Vargas, destacando-se que, para o cálculo das Taxas Geométricas de Crescimento (TGC) e para as correlações por fase do Proálcool, as variáveis foram deflacionadas tendo como ano-base 2009. Para o modelo econométrico, os valores foram deflacionados na base 1995=100.

3.2 – Taxa Geométrica de Crescimento

A taxa geométrica de crescimento foi usada com o objetivo de identificar o crescimento das variáveis área colhida, produção e rendimento da cana-de-açúcar, bem como dos preços do etanol, da gasolina e do açúcar e da produção de etanol. Segundo Guerreiro (2005), a taxa geométrica de crescimento permite indicar o ritmo médio de crescimento de uma variável ocorrido em um período considerado.

Conforme Guerreiro (2005), um modelo de taxa de crescimento pode ser especificado matematicamente por: $V_n = V_o (1 + r)^n$, onde V_n indica os valores da variável em estudo no tempo; r é a taxa de crescimento; V_o representa o valor da variável analisada num dado ano; $V_o (1 + r)$ representa o crescimento dessa variável por unidade de tempo.

Para estimar uma taxa média de crescimento da variável V_n através de uma regressão linear, logaritmiciza-se o modelo $V_n = V_o (1 + r)^n$, obtendo-se

$$\ln V_n = \ln V_o + n \cdot \ln(1 + r) \quad (1)$$

correspondente à equação linear

$$Y_i = a + bX_i \quad (2)$$

em que $Y_i = \ln V_n$; $a = \ln V_o$; $b = \ln(1+r)$; $X_i = n$;

Os parâmetros **a** e **b** podem ser estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e representam uma reta de intercepto **a** com inclinação **b**.

Como $b = \log(1+r)$, tem-se que $1 + r = \text{antlog } b$ e $r = \text{antlog } b - 1$, sendo que **r** representa a taxa média de crescimento do período analisado.

3.3 – Correlação Simples

A análise de correlação permite medir a intensidade ou o grau de associação linear entre duas variáveis. (GUJARATI, 2006). O coeficiente de correlação simples pode ser definido por:

$$r_{xy} = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \sum Y_i^2}} \quad (3)$$

Na análise de correlação simples que é feita entre X_i, Y_i onde r_{xy} , mede a correlação entre as variáveis, o objetivo é determinar o grau de relacionamento entre X_i e Y_i , buscando medir a covariabilidade entre elas. A matriz das correlações simples entre a produção de etanol e o preço do etanol, da gasolina e do açúcar, área colhida, produção e rendimento da cana-de-açúcar, a produção de cana e produção de açúcar foi gerada para todas as fases do Proálcool, Pós-Plano Real e, para todo o período, através do programa *Statistical Analysis Software* (SAS).

3.4 – Modelo Econométrico

Os fatores condicionantes da produção de etanol no Brasil, no período de 1995 a 2009, foram identificados através do modelo de regressão múltipla (4), estimado pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e submetidos a três critérios de avaliação: teórico, estatístico e econométrico. (MATTOS, 2000).

$$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_3 LCP + e \quad (4)$$

Onde Logaritmo da Quantidade Produzida de Etanos (LQE) representa o logaritmo da produção brasileira de etanol; Logaritmo do Preço do Etanol (LPE) é o logaritmo do preço do etanol; Logaritmo do Rendimento da Cana-de-Açúcar (LRC) é o logaritmo do rendimento da cana-de-açúcar; e Logaritmo do Custo de Produção do Etanol (LCP) é o logaritmo do custo da produção do etanol.

No critério teórico, conforme Mattos (2000), os modelos testados devem ser eficientes para medir o impacto duma determinada variável explicativa na variação da variável que está sendo explicada; portanto, descrevem e explicam adequadamente os parâmetros e suas magnitudes, bem como os sinais obtidos devem estar de acordo com o que preconiza a teoria.

No caso do critério estatístico, foram consideradas as seguintes estatísticas: coeficientes de correlação de Pearson conforme a equação (3), coeficiente de determinação (R^2), estatística **F** e **t**.

Quanto ao critério econométrico, foram efetuados os testes de multicolinearidade pela correlação simples e pelo Fator Inflacionário da Variância (**FIV**), teste de especificação pela estatística *Mallow Cp* e os testes de heterocedasticidade (por meio do *Test of First and Second Moment Specification*), autocorrelação serial (teste de *Durbin-Watson*) e normalidade dos resíduos (teste *Shapiro-Wilk*), cujos valores encontram-se no Apêndice A.

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 – Evolução da Área, Produção e Rendimento da Cana-de-açúcar

Analisando a evolução da produção, da área plantada e do rendimento da cana-de-açúcar, no período de 1975 a 2009, observa-se, por meio da Tabela 1, que a produção foi a variável que mais cresceu (4,15% a.a.), seguida pela área colhida (2,99%) e, numa magnitude menor, pelo rendimento médio da cana-de-açúcar (1,09% a.a.).

Considerando a primeira fase do Proálcool, dentre as variáveis analisadas, a produção de cana continuou tendo o maior crescimento, em média de 11,17% a.a., mostrando que, em relação ao período de 1975 a 2009, o seu crescimento médio anual quase triplicou. A área colhida de cana manteve-se em segundo lugar, com 6,61% de crescimento médio anual, dobrando sua taxa de crescimento em relação ao período total de análise. Por fim, o rendimento da cana alcançou um aumento médio de 4,12% a.a., triplicando seu crescimento diante de todo o espaço de tempo.

Esse crescimento das variáveis bem acima da média de todo o período pode ser explicado pelas políticas públicas de estímulo à produção e ao consumo de etanol por intermédio de fortes investimentos e subsídios concedidos pelo governo para o setor nesta fase inicial, conforme argumenta Mendonça (2008).

Ao longo dos anos de 1980 a 1986 (segunda fase do Programa Nacional do Álcool), é possível observar,

por meio da Tabela 1, uma ascendência menor da produção de cana-de-açúcar em relação à primeira fase do programa, onde se obteve um crescimento médio anual de 9,43%. Com um aumento médio de 7,66% a.a., a área colhida de cana apresentou uma evolução anual maior que a primeira fase do programa. No caso do rendimento, ele continuou a aumentar, porém num montante bem menor que o da primeira fase (alta de 1,95% a.a.).

Embora essas variáveis tenham progredido numa intensidade menor ou com o mesmo nível de crescimento, o importante é que a evolução foi positiva. E esse resultado pode ser uma consequência do segundo choque do petróleo, em que, em resposta, o governo passou a estimular além da produção de álcool anidro, a produção de álcool hidratado para ser utilizado nos veículos movidos a álcool. (MICHELLON; SANTOS; RODRIGUES, 2008). Desse modo, deu-se importância mais expressiva ao programa, tornando-o efetivamente alternativo quanto à substituição de energia.

Na terceira fase do programa, ocorreram mudanças na ordem de crescimento das variáveis. Nesta fase, a produção de cana manteve-se com a maior elevação, porém bem menor que a do período anterior, alcançando, em média, 1,38% a.a. Em segundo lugar, com 0,93% de crescimento médio anual, esteve o rendimento da cana, que, nesta fase, ultrapassou a área colhida, a qual apresentou crescimento de apenas 0,43% a.a.

De forma geral, neste período, manteve-se praticamente o mesmo nível de desenvolvimento para a área, para a produção e para o rendimento da cana-de-açúcar. De acordo com Bray; Ferreira e Ruas (2000), esta fase é marcada por estagnação no programa devido à queda no preço internacional do petróleo e à falta de recursos públicos para subsidiar os programas de estímulo aos combustíveis alternativos, reduzindo o volume de produção de energia. Neste contexto, a combinação do desestímulo à produção de etanol e o estímulo à demanda de álcool ocasionaram a crise de abastecimento da entressafra de 1989-90.

Entre os anos de 1996 a 2000, na quarta fase do programa, o crescimento das variáveis produção e área plantada continuou a ser ínfimo, observando-se também uma leve queda quanto ao rendimento da

cana-de-açúcar, registrando desaceleração média de 0,10% a.a. A produção teve crescimento médio de 0,63% a.a., seguida da área, com 0,40% a.a. de crescimento médio.

Isso se deve ao fato de que, nesta fase, em consequência da crise do abastecimento, o Proálcool perdeu sua credibilidade, reduzindo os estímulos ao consumo de álcool e provocando queda na

Tabela 1 – Área, Produção e Rendimento da Cana-de-açúcar no Brasil, por Fase do Proálcool, no Período 1975 a 2009

ANO	FASE	ÁREA	PRODUÇÃO	RENDIMENTO
		(Hectares)	(Toneladas)	(t/h)
1975	1ª	1.969.227,00	91.524.559,00	46,82
1976		2.093.483,00	103.173.449,00	49,43
1977		2.270.036,00	120.081.700,00	52,93
1978		2.391.455,00	129.144.950,00	54,04
1979		2.536.976,00	138.898.882,00	54,79
TGC (%)*		6,61	11,17	4,12
1980	2ª	2.607.628,00	148.650.563,00	56,09
1981		2.825.879,00	155.924.109,00	54,86
1982		3.084.297,00	186.646.607,00	60,47
1983		3.478.785,00	216.036.958,00	62,16
1984		3.655.810,00	222.317.847,00	62,55
1985		3.912.042,00	247.199.474,00	63,22
1986		3.951.842,00	239.178.319,00	60,44
TGC (%)*		7,66	9,43	1,95
1987	3ª	4.314.146,00	268.741.069,00	62,31
1988		4.117.375,00	258.412.865,00	62,78
1989		4.075.839,00	252.642.623,00	62,02
1990		4.272.602,00	262.674.150,00	61,49
1991		4.210.954,00	260.887.893,00	61,94
1992		4.202.604,00	271.474.875,00	64,61
1993		3.863.702,00	244.530.708,00	63,24
1994		4.345.260,00	292.101.835,00	67,23
1995		4.559.062,00	303.699.497,00	66,49
TGC (%)*		0,43	1,38	0,93
1996	4ª	4.750.296,00	317.105.981,00	67,52
1997		4.814.084,00	331.612.687,00	69,10
1998		4.985.819,00	345.254.972,00	68,18
1999		4.898.844,00	333.847.720,00	68,41
2000		4.804.511,00	326.121.011,00	67,51
TGC (%)*		0,40	0,63	-0,10
2001	5ª	4.957.897,00	344.292.922,00	69,49
2002		5.100.405,00	364.389.416,00	71,31
2003		5.371.020,00	396.012.158,00	72,58
2004		5.631.741,00	415.205.835,00	73,88
2005		5.805.518,00	422.956.646,00	72,83
2006		6.355.498,00	477.410.655,00	74,05
2007		7.080.920,00	549.707.314,00	77,05
2008		7.057.800,00	571.434.300,00	77,52
2009		7.531.000,00	612.211.200,00	81,29
TGC (%)*		3,20	4,24	0,89
TGC (%)*		2,99	4,15	1,09

Fonte: * Elaboração Própria dos Autores a partir dos Dados Oriundos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea); Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); Companhia Nacional de Abastecimento (Conab); Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); Instituto de Economia Agrícola (IEA) e União da Indústria de Cana-de-açúcar (Única).

sua demanda nos anos que se sucederam. Além disso, com a alta no preço do açúcar no mercado internacional e menor incentivo à produção de álcool, os usineiros priorizaram a produção de açúcar, em detrimento da produção de etanol. Em 1996, também se teve, conforme Bray; Ferreira e Ruas (2000), uma crise financeira no setor, com previsão de terminar os subsídios do programa. Como resultado, em 1999, o Proálcool imerge numa crise pelo fato de ser instituído com fortes subsídios ao setor produtivo, e a diminuição parcial desses subsídios neste período provocou essa crise no setor.

Na última fase do programa, houve notável crescimento em todas as variáveis. A produção chegou a 4,24% de crescimento médio anual; a área colhida, 3,20% a.a. e o rendimento da cana voltou a crescer, alcançando um valor médio anual de 0,89%.

Neste período, as variáveis voltaram a apresentar elevado acréscimo, incentivadas principalmente pelo novo aumento do preço do petróleo, pela importância do Protocolo de *Kyoto* e pelo surgimento dos veículos *flex fuel*. Com isso, o Proálcool ganhou novo fôlego.

Em todas as fases da análise, inclusive em todo o período estudado, foi factível observar que a variável com maior crescimento foi à produção de cana-de-açúcar, registrando sua maior evolução na primeira fase do programa (11,17% a.a.). Esse aumento, notado na produção brasileira de cana e, em maior proporção, na primeira fase do Proálcool, deve-se aos grandes esforços realizados, principalmente no período inicial, a fim de incentivar a produção de etanol, o qual utiliza como matéria-prima a cana-de-açúcar.

Foram observadas, na primeira fase do programa, as maiores taxas de crescimento em todas as variáveis e, na quarta fase do programa, as menores. Justifica-se isso pelo fato de que os maiores incentivos à produção brasileira de etanol, visando substituir a gasolina pelo combustível renovável e menos poluente, foram realizados na primeira fase do programa. E na quarta fase, houve perda de credibilidade do programa devido à crise do abastecimento, o que, nos anos posteriores, levou ao desestímulo do seu consumo e, conseqüentemente, queda em sua demanda.

4.2 – Evolução da Produção de Etanol e de Variáveis Seleccionadas e o Grau de Relação Existente entre Elas

4.2.1 – Evolução da produção de etanol, dos preços do etanol, da gasolina e do açúcar no Brasil

Por intermédio da Tabela 2, verifica-se que a quantidade produzida de etanol foi a variável que obteve o maior crescimento ao longo do período analisado, alcançando um crescimento médio de 6,91% a.a. Os preços do etanol, da gasolina e do açúcar tiveram queda ao longo do período, sendo que a maior queda foi registrada pelo preço do açúcar (-2,75% a.a.), seguido pelo da gasolina (-1,81% a.a.) e, por fim, pelo do etanol (-1,26% a.a.).

Na fase iniciante do Proálcool (1975 a 1979), a produção de etanol cresceu de forma bastante satisfatória, obtendo um aumento médio anual de 55,89%. É importante destacar que os fortes investimentos e subsídios que foram dados ao setor neste período inicial do programa explicam esse elevado crescimento da produção de etanol. De acordo com Mendonça (2008), o investimento público nesta fase chegou a 100% visando exatamente aumentar a área cultivada de cana-de-açúcar.

No caso do preço do açúcar, este teve uma evolução anual de 2,54% a.a. entre 1975 a 1979, ressaltando que, somente neste período, conseguiu-se um crescimento anual positivo desta variável. Já a gasolina e o etanol tiveram o mesmo crescimento médio em seu preço (2,27% a.a.). Destaca-se que o preço de venda do etanol era determinado pelo governo, sendo estabelecido preço mínimo mais atrativo para o etanol do que em relação ao preço do açúcar.

Entre os anos de 1980 a 1986 (segunda fase), a quantidade produzida de etanol continuou a crescer, entretanto, num patamar significativamente menor que o da primeira fase, diminuindo o seu aumento em mais da metade (21,76% a.a.). Nesta fase, foi o preço da gasolina que obteve a maior queda, o qual teve uma desaceleração de 7,75% a.a. Na sequência, o preço do etanol obteve queda, em média, de 4,12% a.a. e o açúcar diminuiu seu preço em 2,07% a.a.

Tabela 2 – Produção de Etanol e Preços do Etanol, da Gasolina e do Açúcar no Brasil, por Fase do Proálcool e no Período de 1975 a 2009

ANO	FASE	PRODUÇÃO DE ETANOL	PREÇO DO ETANOL	PREÇO DA GASOLINA	PREÇO DO AÇÚCAR
		(m ³)	(R\$/m ³)	(R\$/m ³)	(Kg/m ³)
1975	1 ^a	580,00	2.052,71	3.638,27	2,74
1976		642,00	2.402,29	4.257,87	3,18
1977		1.388,00	2.450,24	4.342,86	3,36
1978		2.248,00	2.297,17	4.071,55	3,23
1979		2.854,00	2.348,23	4.161,81	3,09
TGC (%)*		55,89	2,27	2,27	2,54
1980	2 ^a	3.676,00	3.063,10	5.908,03	3,10
1981		4.207,00	3.327,23	5.832,01	3,23
1982		5.618,00	2.798,85	5.167,53	3,47
1983		7.951,00	2.814,58	4.787,67	3,26
1984		9.201,00	2.833,07	4.526,95	3,23
1985		11.563,00	2.561,68	3.945,73	3,27
1986		9.983,00	2.452,96	3.775,31	2,59
TGC (%)*		21,76	-4,12	-7,75	-2,07
1987	3 ^a	12.340,00	3.004,31	4.610,27	3,09
1988		11.523,00	2.672,31	3.929,87	3,24
1989		11.809,00	2.027,32	2.703,09	3,22
1990		11.518,00	1.909,86	2.543,48	2,34
1991		12.862,00	1.694,92	2.262,27	2,40
1992		11.766,00	2.014,27	2.566,62	3,05
1993		11.395,00	1.933,73	2.452,89	2,44
1994		12.513,00	2.394,35	2.964,43	2,99
1995		12.745,00	1.445,72	1.791,64	2,22
TGC (%)*		0,55	-5,35	-7,71	-3,04
1996	4 ^a	14.134,00	1.551,43	1.886,11	2,15
1997		15.494,00	1.813,51	2.117,50	1,71
1998		14.121,00	1.984,01	2.359,86	1,63
1999		12.981,00	1.653,36	2.921,02	1,27
2000		10.700,00	2.132,57	3.268,02	1,64
TGC (%)*		-7,07	5,59	15,27	-8,04
2001	5 ^a	11.466,00	2.016,25	3.246,34	1,62
2002		12.588,00	1.788,14	2.988,98	1,56
2003		14.470,30	1.890,54	2.908,32	1,81
2004		14.648,00	1.553,86	2.670,18	1,30
2005		16.039,89	1.666,39	2.815,17	1,43
2006		17.764,26	1.994,17	3.023,23	1,81
2007		22.556,90	1.955,46	2.770,60	1,37
2008		26.683,82	1.783,69	2.430,78	1,12
2009		25.866,06	1.752,23	2.383,00	1,56
TGC (%)*		6,37	-0,08	-1,52	-1,16
TGC (%)*		6,91	-1,26	-1,81	-2,75

Fonte: * Elaboração Própria a partir dos Dados Oriundos do Ipea, Mapa, Conab, ANP, IEA e Unica.

Na terceira fase do programa (1987 a 1995), a produção de etanol obteve crescimento médio bastante pequeno: em torno de 0,55% a.a. Essa diferença de crescimento em relação às fases anteriores pode ser explicada pela diminuição dos investimentos e pela pouca credibilidade do programa, oriunda da crise da entressafra de 1989-90.

A maior queda nos preços foi encontrada na gasolina (-7,71% a.a.), seguida pela diminuição no preço do etanol (-5,35% a.a.) e, em último lugar, no do açúcar (- 3,04% a.a.).

Entre os anos de 1996 a 2000, quarta fase do programa, a quantidade produzida de etanol apresentou queda de 7,07% a.a. De acordo com Michellon; Santos e Rodrigues (2008), esse cenário decorreu, principalmente, da decisão dos usineiros de produzir açúcar em detrimento do álcool, devido ao aumento do preço do açúcar no mercado internacional.

Os preços da gasolina e do etanol voltaram a crescer. O preço da gasolina alcançou crescimento médio de 15,27% a.a. e o do etanol, em média de 5,59% a.a., e somente o preço do açúcar apresentou queda de 8,04% a.a.

Na última fase do Proálcool (a partir de 2000), a produção de etanol voltou a aumentar em 6,37% a.a. Os preços tornaram a cair, com a maior queda média registrada no preço da gasolina (-1,52% a.a.), seguida do preço do açúcar (- 1,16% a.a.) e do etanol (- 0,08% a.a.).

O maior crescimento dentre as variáveis analisadas, para todo o período e em quase todas as fases do programa, foi observado na quantidade produzida de etanol, com a maior evolução registrada no período inicial (55,89% a.a.). Porém, na quarta fase, quem teve o maior crescimento foi o preço da gasolina, com 15,27% a.a.

O preço do açúcar cresceu somente na primeira fase do programa, obtendo sucessivas quedas nas fases posteriores, sendo a maior registrada na quarta fase (-8,04% a.a.). Por fim, o preço da gasolina teve os maiores aumentos de preços e as maiores quedas também.

4.2.2 – Correlação entre a produção de etanol e variáveis selecionadas

Na primeira fase do programa, pode-se observar, por meio da Tabela 3, a existência de uma associação positiva entre a quantidade produzida de etanol e a área colhida de cana, o rendimento da cana e a produção de cana. Isso significa que, quanto maior a área produzida de cana, quanto maior o seu rendimento e quanto maior a sua produção, maior tendia a ser a produção de etanol (e vice-versa).

Para o segundo período do Proálcool, foi evidenciada uma correlação negativa entre a produção de etanol e o seu preço e entre a produção de etanol e o preço de gasolina. Ou seja, quando ocorria um aumento da quantidade produzida de etanol, havia uma diminuição do seu preço, sendo válido também o contrário. Ao mesmo tempo, quando se tinha uma diminuição do preço da gasolina, aumentava-se a produção de etanol (e vice-versa). Destaca-se que a quantidade produzida de cana, a sua área e o seu rendimento continuaram a ter uma associação positiva com a produção de etanol.

Na terceira fase do programa, apenas a área e a quantidade produzida de cana-de-açúcar continuaram a ter uma correlação positiva com a produção de etanol, no nível de significância de 5%.

No espaço de tempo decorrido entre os anos de 1996 a 2000 (quarta fase do Proálcool), nenhuma das variáveis selecionadas foi significativa a 5% de confiança, ou seja, nesse período, a quantidade produzida de etanol não teve nenhum grau de associação com essas variáveis selecionadas.

O mais recente período do Programa Nacional do Álcool apresentou uma correlação entre a produção de etanol e a quantidade produzida, a área colhida e o rendimento da cana, evidenciando que essas variáveis caminharam de forma conjunta no mesmo sentido. Além disso, a quantidade produzida de açúcar obteve, nesse período, associação positiva com a produção de etanol, enquanto este se associou de forma inversa com o preço da gasolina.

Para anos de 1995 a 2009, período Pós-Plano Real, marcado por maior estabilidade monetária, a produção

Tabela 3 – Correlação Simples da Quantidade Produzida de Etanol e Variáveis do Setor, por Fase do Proálcool e Pós-Plano Real, no Período de 1975 a 2009

	LPE	LPG	LPA	LQC	LQA	LAC	LRC
FASES							
1 ^a	0,4069	0,4067	0,4818	0,9763	0,3165	0,9820	0,9558
(1975/1979)	0,4966	0,4969	0,4112	0,0044	0,6038	0,0029	0,0111
2 ^a	-0,8493	-0,9557	-0,2544	0,9949	0,1080	0,9913	0,8916
(1980/1986)	0,0156	0,0008	0,5820	<.0001	0,8178	<.0001	0,0070
3 ^a	-0,2574	-0,2413	-0,2436	0,6670	0,5389	0,6988	0,4059
(1987/1995)	0,5038	0,5317	0,5276	0,0497	0,1344	0,0362	0,2785
4 ^a	-0,5118	-0,8484	0,2710	0,1860	-0,2476	0,1001	0,6475
(1996/2000)	0,3780	0,0692	0,6592	0,7645	0,6880	0,8728	0,2375
5 ^a	-0,0604	-0,8359	-0,4686	0,9897	0,9205	0,9806	0,9451
(2001/2009)	0,8774	0,0050	0,2033	<.0001	0,0004	<.0001	0,0001
	-0,4225	-0,5692	-0,5749	0,9288	0,6439	0,9303	0,9154
(1975/2009)	0,0115	0,0004	0,0003	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
PPR	-0,0063	-0,2121	-0,4196	0,9397	0,7908	0,9327	0,8827
(1995/2009)	0,9822	0,4479	0,1195	<.0001	0,0004	<.0001	<.0001

Fonte: Elaboração Própria dos Autores a partir dos Resultados do SAS.

Notas: - PPR = Pós-Plano Real.

- Em negrito estão os níveis de significância dos coeficientes de correlações.

- LPE= Logaritmo do Preço de Etanol.

- LPG= Logaritmo do Preço da Gasolina.

- LPA= Logaritmo do Preço do Açúcar.

- LQC= Logaritmo da Quantidade Produzida de Cana.

- LQA= Logaritmo da Quantidade Produzida de Açúcar.

- LAC= Logaritmo da Área Colhida de Cana.

- LRC= Logaritmo do Rendimento da Cana.

de etanol manteve uma correlação com a quantidade produzida de açúcar, com a produção, área e com o rendimento da cana-de-açúcar, demonstrando que um aumento destas variáveis conduzia a uma elevação da produção do etanol no Brasil e vice-versa.

Ao longo de todo o programa, ou seja, considerando os dados de 1975 a 2009, todas as variáveis selecionadas foram significativas a 5% de confiança. Os preços da gasolina, do açúcar e do etanol apresentaram grau de relacionamento negativo com a produção de etanol, o que significa que, quando se teve um aumento da quantidade produzida de etanol, ocorreu uma diminuição do preço dessas variáveis (e vice-versa). A produção, a área colhida e o rendimento da cana associaram-se positivamente com a produção de etanol, da mesma forma que se associou positivamente a este a quantidade produzida de açúcar.

As variáveis que, ao longo de todo o período analisado, obtiveram a maior correlação com a quantidade produzida de etanol foram a produção, a área colhida e o rendimento da cana. Como a área colhida e o rendimento proporcionam a produção da cana e como esta é a fonte de matéria-prima para a produção de etanol, então, maiores quantidades produzidas de cana proporcionaram, conseqüentemente, maiores produções de etanol. Somente na quarta fase não houve correlações significativas entre essas variáveis, por esta fase ser considerada como de estagnação e declínio do Proálcool. Com a diminuição dos preços internacionais do petróleo, a produção interna de etanol ficou limitada. Nesse período, o menor incentivo por parte do governo visando à produção de etanol e o aumento do preço do açúcar no mercado internacional levaram os usineiros

a dar lugar à produção de açúcar em vez do etanol, restringindo a evolução conjunta da produção de cana e da quantidade produzida de etanol.

4.3 – Principais Fatores Condicionantes a Produção de Etanol

Os fatores condicionantes da produção de etanol determinados, *a priori*, com base na teoria econômica foram:

- a) preço do etanol;
- b) rendimento da cana-de-açúcar; e
- c) custo da produção, o que equivale aos preços dos insumos utilizados no processo de produção do etanol, ou seja, um índice de preço médio de agrotóxico, fertilizante, combustíveis e mão de obra.

4.3.1 – Modelo empírico da produção brasileira de etanol

O modelo econométrico (5) foi estimado para identificar o impacto do Preço do Etanol (PE), do Rendimento da Cana-de-açúcar (RC) e do Custo da Produção (CP) na Quantidade Produzida de Etanol (QE), considerando o período de 1995 a 2009.

$$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP + e \quad (5)$$

Por intermédio dos resultados estimados do modelo (5), apresentados na Tabela 4, pode-se observar que a variação no preço do etanol, no rendimento da cana-de-açúcar e no custo da produção explicou em 89% as variações observadas na quantidade produzida de etanol, considerando os dados do período de 1995 a 2009.

Os sinais dos parâmetros estimados confirmaram os pressupostos da teoria econômica, porém a influência do preço do etanol sobre a sua quantidade produzida foi estatisticamente nula no nível proposto de significância (5%). Em relação ao rendimento da cana-de-açúcar, apresentou-se que, para cada 1% de aumento, ocorreu uma elevação de 5,84% na produção de etanol. Ou seja, quanto maior era o rendimento obtido na produção de cana, maior era a produção de etanol, destacando-se que uma variação percentual no rendimento da cana resultou em uma variação mais que proporcional na quantidade produzida de etanol. Isso sugere que, se novas tecnologia forem desenvolvidas visando elevar a produtividade e, conseqüentemente, o rendimento da cana-de-açúcar no Brasil, ter-se-ia um impacto significativo sobre a produção de etanol.

No que diz respeito ao custo da produção, para cada 1% de aumento, teve-se uma queda de 3,34% na produção de etanol. Da mesma forma, uma diminuição no custo de produção do etanol resultou num aumento mais que proporcional na produção de etanol, explicando por que, naqueles períodos onde se tinham subsídios governamentais destinados a esse setor, a produção de etanol se elevava.

O rendimento da cana-de-açúcar foi o fator de principal determinação da quantidade de produção do etanol, explicando 76,43% das variações ocorridas na sua produção. O custo da produção contribuiu para explicar 10,96% das variações na produção de etanol e do seu preço em 1,31%. O valor **Cp** encontrado foi de 4, indicando que o modelo está completo e foi especificado corretamente. (Tabela 5).

Tabela 4 – Resultados do Modelo Econométrico (5) da Produção Brasileira de Etanol, 1995-2009

Modelo estimado	N	Parâmetros				R ²	F
		Intercepto	Coeficientes de Elasticidade				
		b ₁	b ₂	b ₃	b _a		
$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP + e$	15	2,91 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	5,84 ^a	-3,34 ^a	0,89	28,77 ²

Fonte: Dados da Pesquisa

Nota: a = significativo a 1%.

NS = não-significativo até 5%.

QE é a quantidade produzida de etanol;

PE é Preço do Etanol.

RC é o Rendimento da Cana.

CP é o Custo da Produção.

Tabela 5 – Coeficientes de Correlação e Determinação Parciais

Modelo	LPE	LRC	LCP	Cp
$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP + e$	0,0131 0,1145	0,7643 0,8742	0,1096 0,3311	4,0000

Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: Em negrito estão as correlações parciais.

O teste FIV, o qual visa detectar a multicolinearidade, é apresentado na Tabela 6. Um dos FIVs calculados apresentou um valor igual a 11, evidenciando que há correlação elevada entre algumas das variáveis explicativas do modelo. Entretanto, de acordo com Blanchard (2000 apud GUJARATI, 2006), a multicolinearidade se caracteriza por um problema de deficiência de dados (a micronumerosidade) e, às vezes, não se tem escolha quanto aos dados utilizados na análise empírica. Segundo o autor, a presença da multicolinearidade não significa precisamente que todos os coeficientes do modelo de regressão são estatisticamente insignificantes. Assim, como o valor do FIV não ficou muito distante de 10, optou-se por não

fazer nada, considerando não ser algo necessariamente ruim quando o propósito da análise de regressão se tratar de previsão ou prognóstico. (GUJARATI, 2006).

No teste de Durbin-Watson, os valores obtidos para $Pr < DW$ para autocorrelação positiva de primeira ordem (0,26) como de segunda ordem (0,25) apresentaram-se superiores no nível de significância de (0,05), mostrando que o modelo (4.1) não apresentou autocorrelação de primeira ordem. Para autocorrelação residual negativa, com valores $Pr > DW$ de 0,73 na primeira ordem e 0,74 na segunda ordem, que são maiores que 0,05, demonstrou-se igualmente ausência de autocorrelação. (Tabela 7).

Tabela 6 – Fator Inflacionário da Variância

Modelos	R_j^2	FIV
$LPE = \beta_0 + \beta_1 LRC + \beta_2 LCP + e$	0,9090	11
$LRC = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LCP + e$	0,8516	6,7
$LCP = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + e$	0,8454	6,5
R^2 do modelo original 4.1	0,8939	

Fonte: Dados da Pesquisa.

Tabela 7 – Testes de Autocorrelação

Modelo	Autocorrelação		
	(Durbin-Watson)		
	DW	Pr < DW	Pr > DW
$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP$	2,0061*	0,2657	0,7343
	1,6808 **	0,2559	0,7441

Fonte: Dados da Pesquisa.

Notas: - *Coeficiente de DW para autocorrelação de primeira ordem e **coeficiente de DW para autocorrelação de 2ª ordem.

- $Pr < DW =$ é valor-p para testar se existe autocorrelação positiva. Se $(Pr < DW) > 0,05$, o modelo não apresenta problema de autocorrelação positiva.

- $Pr > DW$ é o valor-p para testar se existe autocorrelação negativa. Se $(Pr > DW) > 0,05$, o modelo não apresenta problema de correlação residual negativa.

Tabela 8 – Teste de Heterocedasticidade

Modelo	Test of First and Second Moment Specification	
	χ^2	Pr > ChiSq
$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP$	9,59	0,3846

Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: - ChiSq = qui-quadrado.

Tabela 9 – Teste de Distribuição Normal Shapiro-Wilk

Modelo	W-calc	Pr < W
$LQE = \beta_0 + \beta_1 LPE + \beta_2 LRC + \beta_a LCP$	0,9206	0,1966

Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: - Pr < W = é o valor – p para testar se existe distribuição normal. Se (Pr < W) > 0,05, o modelo apresenta distribuição normal nos resíduos.

Para verificar se o modelo atende o pressuposto de variância constante, utilizou-se o *Test of First and Second Moment Specification*, do SAS, que apresentou valor *p* de 0,38, superior ao nível de significância adotado de 0,05, o que permite aceitar a hipótese nula de ausência de heterocedasticidade, ou seja, o modelo (5) é homocedástico (Tabela 4.8).

A presença da normalidade nos resíduos de regressão de (5) pôde ser confirmada por meio do teste de distribuição normal Shapiro-Wilk (Tabela 9), no qual o valor apresentado foi 0,9206%, não sendo significativo no nível adotado de 5%. Portanto, aceitou-se a hipótese nula de presença de normalidade nos resíduos da regressão.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O etanol consiste numa fonte alternativa de energia renovável. No Brasil, há mais de três décadas, ele é consumido, ressaltando-se que, a partir de 1970, programas de estímulo a sua produção foram realizados, destacando-se o Proálcool.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo analisar a evolução da produção brasileira de etanol, no período de 1975 a 2009. Mais precisamente, realizou-se uma análise da evolução da área colhida, produção e rendimento da cana-de-açúcar, da produção e dos preços do etanol, da gasolina e do açúcar e o grau de associação existente entre essas variáveis. Por fim, para o período Pós-Plano Real, compreendido

entre 1995 a 2009, buscou-se verificar o impacto do preço do etanol, do rendimento da cana e do custo da produção do etanol na produção brasileira de etanol ao longo desse espaço de tempo.

A análise quanto à evolução da área, produção e rendimento da cana-de-açúcar demonstrou que a variável produção de cana é a que obteve o maior crescimento ao longo de todo o período estudado, seguidos da área colhida e do rendimento médio. Além disso, a produção de cana continuou a apresentar o maior crescimento em todas as fases do Proálcool.

Na primeira fase do programa, observaram-se as maiores taxas de crescimento em todas as variáveis e, na quarta fase do programa, as menores. Justifica-se isso pelo fato de que os maiores incentivos à produção brasileira de etanol, visando substituir a gasolina pelo combustível renovável e menos poluente, foram realizados na primeira fase do programa. E na quarta fase, houve perda de credibilidade do programa, devido à crise do abastecimento, o que, nos anos posteriores, levou ao desestímulo do seu consumo e consequente queda em sua demanda.

Na análise da evolução do etanol, verificou-se que a sua quantidade produzida foi a variável que obteve o maior crescimento ao longo de todo o período estudado, alcançando um crescimento médio de 6,91% a.a., ao passo que os preços do etanol, da gasolina e do açúcar tiveram queda. Destaca-se que, quando se examinou a evolução dessas variáveis por fase do

Proálcool, a quantidade produzida de etanol continuou a apresentar o maior crescimento em todas as fases, com exceção apenas da quarta.

Com o objetivo de identificar a associação existente entre a produção de etanol e algumas variáveis, possivelmente determinantes da sua produção, calculou-se o coeficiente de correlação. Os resultados demonstraram que, ao longo de todo o programa, todas as variáveis selecionadas foram significativas a 5% de confiança. Entretanto, a análise por fase demonstrou a relevância da produção, da área e do rendimento da cana de açúcar com relação à produção de etanol, verificando-se uma associação positiva. Como a área colhida e o rendimento proporcionam a produção da cana e como esta é a fonte de matéria-prima para a produção de etanol, então, maiores quantidades produzidas de cana proporcionaram maiores produções de etanol e vice-versa. Somente na quarta fase é que não se conseguiu captar essas correlações significativas entre essas variáveis, eminentemente por ser esta fase considerada como de estagnação e declínio do Proálcool. Nesse período, o menor incentivo por parte do governo à produção de etanol e o aumento do preço do açúcar no mercado internacional levaram os usineiros a dar lugar à produção de açúcar em vez do etanol, restringindo a evolução conjunta da produção de cana e da quantidade produzida de etanol.

Por fim, a análise quanto aos fatores determinantes da produção de etanol revelou que o rendimento da cana-de-açúcar influenciou positivamente a produção do etanol, enquanto o custo de produção de etanol exerceu um efeito negativo sobre sua produção. Mais do que isso, um aumento de 1% no rendimento da cana-de-açúcar proporcionou uma elevação de 5,84% na produção de etanol, demonstrando existir um efeito positivo mais que proporcional do rendimento da cana sobre a produção de etanol. No caso do custo de produção do etanol, verificou-se que acréscimo de 1% no custo acarretou uma diminuição de 3,34% na sua produção, existindo também um efeito mais que proporcional sobre a produção de etanol. Entretanto, tal efeito foi negativo.

No decorrer da análise, pôde-se perceber que o rendimento da cana-de-açúcar apresentou baixo crescimento ao longo de todo o Programa Nacional

do Álcool. Ao mesmo tempo, observou-se que a tecnologia foi um fator sempre deixado em segundo plano na questão da produção de etanol no Brasil. Como no exame dos determinantes da produção de etanol verificou-se que, justamente, o rendimento da cana foi o fator que deu maior impulso à produção de etanol, então, a promoção do desenvolvimento da indústria de etanol pode ser efetivada com políticas públicas voltadas para melhorar o rendimento desse setor. Mais precisamente, deve-se fazer uso de políticas públicas de estímulo ao incremento de inovadoras tecnologias para a produção de etanol, a fim de aumentar especialmente o rendimento da cana brasileira.

ABSTRACT

This study aims to analyze the evolution of Brazilian ethanol production in the period 1975 to 2009. More precisely, it carries out an analysis of evaluation of the harvested area, production and income of sugar cane, production and prices of ethanol, gasoline and sugar, and the degree of association between these variables. It verifies the impact of the price of ethanol, the income of sugar cane and the cost of ethanol production in Brazilian ethanol production for the period after the Real Plan, from 1995 to 2009. The results regarding the evolution of sugar cane production has shown that the production variable was the one that had the highest growth throughout the study period, followed by the harvested area and average income. In the analysis of ethanol, it verifies that the quantity produced was the one with the highest growth. The examination as to determinants of ethanol revealed that the income of cane sugar influenced them positively, while the cost of ethanol production has had a negative effect on their production.

KEY WORDS

Ethanol. Pro alcohol..

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. [S.l.], 2009.

Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?=61346&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebu st=1344903089063>>. Acesso em: 10 maio 2012.

BIODIESEL. **Evolução do Programa Nacional do Álcool: Proálcool**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 9 mar. 2010.

BLANCHARD, O. **What do we know about macroeconomics that Fisher and Wicksell did not?**. [S.l.]: National Bureau of Economic Research, 2000. (NBER Working Papers, 7550).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/acessoainformacao/estatistica>>. Acesso em: 2 abr. 2010.

BRAY, J. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D. G. G. **As políticas da agroindústria canvieira e o Proálcool no Brasil**. São Paulo: Unesp-Marília-Publicações, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Indicadores da agropecuária**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=543&t=2>>. Acesso em: 27 abr. 2010.

GOLDEMBERG, J. The case renewable energy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR RENEWABLE ENERGIES, 2004, Bonn. **Proceedings...** Bonn: Secretariat of the International Conference for Renewable Energies, 2004. Disponível em: <<http://www.renewables-bonn-2004.de/pdf/tbp/TBP01-rationale.pdf>>. Acesso em: maio 2010.

GUERREIRO, E. **Análise de dados através do Excel: aplicações econômicas**. [S.l.]: UEPG, 2005.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. Tradução de Maria José Cyhlar Monteiro. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social**. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2004.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>>. Acesso em: 23 maio 2010.

IPEA. Ipeadata: macroeconômico. Brasília, DF, [2010?]. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 15 fev. 2010.

LA ROVERE, E. Brazil. In: BIAGINI, B. (Ed.). **Confronting climate: a climate of trust report**. Washington, DC: National Environmental Trust, 2000. p. 209-222.

_____. Les impacts sociaux et écologiques du plan alcool brésilien. **Économie et Humanisme**, Paris, n. 260, p. 36-47, Jul./Aug. 1981.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CEYQFJA A&url=http%3A%2F%2Fwww.scielo.br%2Fpdf%2F ea%2Fv23n65%2Fa09v2365.pdf&ei=hlcqUMXvK-Po6gGh_YDQAQ&usq=AFQjCNE5kZ-DVdJOeqScJgWaqidxLaEkMA>. Acesso em: 2012.

MATTOS, O. C. de. **Econometria básica: teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MENDONÇA, M. A. Expansão da produção de álcool combustível no Brasil: uma análise baseada nas curvas de aprendizagem. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio de Branco. **Anais...** Rio Branco: BNDES, 2008.

MICHELLON, E.; SANTOS, A. A. L.; RODRIGUES, J. R. A. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: BNDES, 2008.

MORAES, M. A. F. D. O mercado de trabalho da agroindústria canvieira: desafios e

oportunidades. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, dez. 2007.

MOREIRA, M. Análise prospectiva do padrão de expansão do setor sucroenergético brasileiro:

uma aplicação de modelos probabilísticos com dados georeferenciados. 2008, 150 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PROÁLCOOL. Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol.htm>>. Acesso em: 10 maio 2010.

SILVA, E. P. A evolução da produção do álcool combustível e a região norte do Brasil de 1975

a 2005. 2006. 75 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados e cotações**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 3 maio 2010.

Recebido para publicação em 26.02.2011.

