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

**Determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética
brasileira: uma abordagem por fronteira estocástica**

André Felipe Danelon

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2018**

André Felipe Danelon
Bacharel em Ciências Econômicas

**Determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética brasileira: uma
abordagem por fronteira estocástica**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Danelon, André Felipe

Determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética brasileira: uma abordagem por fronteira estocástica / André Felipe Danelon. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

82 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Eficiência 2. Cana-de-açúcar 3. Fronteira estocástica 4. Usinas I. Título

DEDICATÓRIA

Esta dissertação é dedicada à Maria Sirlei Bellotti Danelon, minha mãe, por todo o carinho, incentivo e compreensão incondicionais dedicados a mim e todos seus filhos, valores que continuarão vivos e marcantes em minha memória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Pedro Luiz Danelon, aos meus irmãos Kelly, Daniel e Lays e, também, à minha sobrinha Anik, pelo apoio em toda minha formação pessoal e profissional. Todos me ensinaram de diferentes formas o verdadeiro significado de força de vontade e determinação para superar adversidades, se adaptar e lutar pelos seus objetivos.

Dedico um agradecimento a todos meus familiares, especialmente aos meus avós, por todas as lições de simplicidade, apoio e carinho, sejam em memória ou as que ainda recebo.

Agradeço também à Fernanda Gaudio, por toda companhia, apoio, compreensão e empolgação que me ajudaram a superar diversos desafios ao longo dos anos.

Sou muito grato ao professor Humberto pelo apoio e determinação em realizar bons trabalhos comigo e promover de forma consistente meu aprimoramento profissional. É um grande exemplo de profissional, desde a forma como conduz suas aulas, suas pesquisas, até como lida com as dúvidas mais simples de seus alunos.

Agradeço também à Márcia Azanha, Cassiano Bragagnolo, Daniel Sonoda e Luciano Rodrigues pelos valiosos comentários e dicas durante o processo de qualificação e defesa desta dissertação. Ademais, também agradeço ao Daniel Sonoda por me incentivar e me apoiar a utilizar a base de dados levantadas pelo PECEGE.

Aos amigos do PECEGE, que muito me ensinaram e tornaram os anos de graduação muito proveitosos e agradáveis. Todos eles foram fundamentais para a elaboração dos dados utilizados nessa pesquisa.

E, naturalmente, agradeço também a todos os meus amigos, tanto os de longa data como as novas amizades que tive o prazer de criar no PPGEA.

Agradeço à CAPES e CNPq pelo suporte financeiro dessa pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. Introdução	13
2. Revisão bibliográfica	17
2.1. Breve histórico da produção sucroenergética	17
2.2. Caracterização da produção sucroenergética no Brasil	19
3. Metodologia.....	27
3.1. Análise de Fronteira Estocástica.....	27
3.1.1. Funções de produção do modelo empírico	30
3.2. Bases de dados.....	31
3.2.1. Estatística descritiva dos dados usados no modelo empírico	34
3.2.2. Dados sobre financiamentos das usinas a partir de recursos do BNDES	40
3.3. Evidências de ineficiência técnica.....	42
3.3.1. Outros indicadores que podem afetar o nível de eficiência das usinas	44
4. Resultados e discussão	49
5. Considerações Finais	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXOS.....	67

RESUMO

Determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética brasileira: uma abordagem por fronteira estocástica

Nos anos 2000, o desenvolvimento de veículos automotores *flex-fuel* no Brasil e a alta no preço das *commodities* no mercado internacional permitiram que o setor sucroenergético apresentasse rápido crescimento. Além dos incentivos econômicos, a produção do etanol como biocombustível é alinhada com as diretrizes internacionais, sendo de interesse político e ambiental. Contudo, o avanço do setor ocorreu principalmente pela expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar. A produtividade agrícola apresentou baixo crescimento no período, assim como a produtividade agroindustrial. Na primeira metade da década de 2010, a baixa rentabilidade econômica do setor evidenciou a necessidade de elevar a produtividade das usinas brasileiras. O objetivo desse trabalho é estimar o nível de eficiência técnica das usinas, a partir de modelos de fronteira estocástica, bem como identificar quais seus determinantes na produção industrial de açúcar e etanol. A base de dados utilizada corresponde a um painel desbalanceado composto por 121 usinas das principais regiões produtoras, ou seja, Centro-Sul e Nordeste, ao longo das safras 2013/2014 a 2016/2017, totalizando 315 observações. Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos pelo projeto "Campo Futuro" da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Por meio de um acordo com o Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão Empresarial (PECEGE ESALQ USP), um grupo de extensão da Escola de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP), os dados foram coletados através de pesquisas e visitas às usinas. O melhor ajuste econométrico foi a partir do modelo de dados em painel com efeitos aleatórios com forma funcional translog. Os resultados para o modelo mais apropriado indicam que a amostra apresenta, relativamente, um elevado nível de eficiência técnica geral, sendo 92% em média, e que não há níveis persistentes de ineficiência, ou seja, as oscilações na eficiência técnica geral ocorrem por variações conjunturais. As usinas mais eficientes da amostra estão localizadas na região Centro-Sul do Brasil. Não há evidências consistentes de que o acesso à crédito e certificações estejam relacionadas a um maior nível de eficiência técnica industrial.

Palavras-chave: Eficiência; Cana-de-açúcar; Fronteira estocástica; Usinas

ABSTRACT

Determinants of technical efficiency in Brazilian sugarcane agroindustry: a stochastic frontier approach

In the 2000s, the development of flex-fuel vehicles in Brazil and the rise of commodities prices in the international market allowed the sugar-energy sector to grow rapidly. In addition to the economic incentives, the production of ethanol as biofuel is aligned with international guidelines, being of political and environmental interest. However, the advance of the sector was mainly due to the expansion of the areas cultivated with sugarcane. Agricultural productivity showed low growth in the period, as well as agroindustrial productivity. In the first half of the 2010, the low profitability of the sector evidenced the need to increase the productivity of the Brazilian mills. The objective of this paper is to estimate the technical efficiency level of the mills, based on stochastic frontier models, as well to identify their determinants in the industrial production of sugar and ethanol. The database used corresponds to an unbalanced panel composed of 121 plants from the main producing regions, ie, Central-South and Northeast, during the seasons 2013/2014 to 2016/2017, totaling 315 observations. The data used in the research were obtained from the “Campo Futuro” Project of the Confederation of Agriculture and Livestock of Brazil (CNA). Based on an agreement with the Continuing Education Program in Economics and Business Management (PECEGE ESALQ USP), an extension group of the "Luiz de Queiroz" School of Agriculture (ESALQ / USP), the data were collected through surveys and visits to the mills. The best econometric adjustment was from the panel data model with random effects with translog functional form. The results for the most appropriate model indicate that the sample has a relatively high level of general technical efficiency, being 92% on average, and that there are no persistent levels of inefficiency, that is, the oscillations in general technical efficiency occur due to conjunctural variations. The most efficient plants in the sample are located in the Center-South region of Brazil. There is no consistent evidence that access to credit and certifications is related to a higher level of industrial technical efficiency.

Keywords: Efficiency; Sugarcane; Stochastic frontier; Mills

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de produção industrial simplificado.....	20
Figura 2 - Distribuição espacial da produção e processamento de cana-de-açúcar no Brasil. 21	
Figura 3 - Evolução da produção de cana-de-açúcar dos principais estados produtores e a representatividade nacional das principais regiões produtoras. Valores entre os anos de 1990 e 2015.	22
Figura 4 - Evolução da produtividade agrícola (t/ha) dos canaviais da região Centro-Sul e Nordeste. Valores entre os anos de 1990 e 2015.....	23
Figura 5 - Evolução da área cultivada cana-de-açúcar nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre os anos de 1990 e 2015.	23
Figura 6 - Construção do vetor de produção industrial por unidade agrícola.....	24
Figura 7 - Evolução de produção industrial por hectare de produção de cana das regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre 1990 e 2015 (1990 = 100).....	25
Figura 8 - Evolução de produção industrial por tonelada de produção de cana das regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre 1990 e 2015 (1990 = 100).	25
Figura 9 - Representação da eficiência técnica pela ótica do produto para uma firma com dois produtos.	27
Figura 10 - Distribuição espacial das usinas amostradas ao longo das quatro safras avaliadas na pesquisa.	33
Figura 11 - Distribuição dos produtos "FINAME" e BNDES Automático" por unidades federativas. Valores acumulados entre 2002 e 2016. R\$ de 2016, deflacionados pelo IPCA.	41
Figura 12 - Distribuição espacial do montante de financiamentos obtidos pela linha FINAME e Automático do BNDES entre 2002 e 2016. Dados exclusivos para a amostra de 121 usinas utilizadas na pesquisa. Valores em R\$/t de capacidade de moagem instalada. Valores em R\$ 2016*.....	42
Figura 13 - Distribuição da eficiência técnica geral para os modelos analisados.....	56
Figura 14 - Distribuição dos componentes residuais e persistentes da eficiência técnica para os modelos analisados.	56
Figura 15 - Evolução temporal dos componentes do nível de eficiência a partir das diferentes especificações testadas: A apresenta os componentes para CD_FE, B para CD_RE, C para TL_FE e D para TL_RE.	57

Figura 16 - Distribuição espacial do nível geral de eficiência técnica (OTE) para os modelos especificados na pesquisa. A apresenta os componentes para CD_FE, B para CD_RE, C para TL_FE e D para TL_RE.....58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição das combinações de formas funcionais e modelos utilizados.	31
Tabela 2 - Distribuição geográfica e temporal das usinas presentes no recorte amostral utilizado pela pesquisa.	32
Tabela 3 - Representatividade da amostra por região utilizada na pesquisa, em relação ao número de usinas e ao total de cana processada. Valores em porcentagem (%).	33
Tabela 4 - Comparação das amostras utilizadas em diferentes trabalhos sobre a eficiência do setor sucroenergético.	34
Tabela 5 - Variáveis utilizadas no modelo empírico.	36
Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para calibrar o modelo empírico.	37
Tabela 7 - Estatística descritiva de características selecionadas das usinas que compõem a amostra.	38
Tabela 8 - Composição da força de trabalho industrial de acordo com o setor em que cada funcionário está alocado.	39
Tabela 9 - Descrição das linhas de financiamento levantadas no BNDES.	40
Tabela 10 - Evidências de ineficiência técnica.	44
Tabela 11 - Descrição das variáveis testadas como possíveis determinantes do nível de eficiência das usinas.	45
Tabela 12 - Hipóteses para a relação entre as características produtivas e o nível e eficiência das usinas.	46
Tabela 13 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas como componentes de ineficiência.	47
Tabela 14 – Distribuição amostral das variáveis selecionadas como componentes de ineficiência.	48
Tabela 15 - Ajustes econométricos da forma funcional Cobb-Douglas para diferentes modelos	50
Tabela 16 - Ajustes econométricos da forma funcional Translog para diferentes modelos. ...	51
Tabela 17 - Teste de Wald para decisão entre forma funcional Translog e Cobb-Douglas. ...	52
Tabela 18 - Resultados do modelo para o componente de ineficiência residual.	53
Tabela 19 - Resultados do modelo para o componente de ineficiência persistente.	54

Tabela 20 - Teste-t para comparação da média de eficiência técnica geral (OTE) entre usinas certificadas e não certificadas, pertencentes a um grupo e localizada ou não no Nordeste.	59
Tabela 21 - Correlação entre as diferentes especificações de financiamentos obtidos via BNDES e nível de eficiência técnica geral (OTE).	60
Tabela 22 - Exemplo da transformação proposta por Coelli et al. (2003)	67
Tabela 23 - Recursos liberados via BNDES FINAME e BNDES Automático entre 2002 e 2016 para as usinas amostradas na pesquisa. Valores em R\$ de 2016.	74
Tabela 24 - Eficiência técnica geral calculada para cada observação do banco de dados.	75

1. INTRODUÇÃO

A contribuição da agricultura para o crescimento de longo prazo da economia brasileira tem sido abordada por diversos trabalhos. Spolador e Roe (2013) apontaram para o rápido crescimento da produtividade agrícola no Brasil, atribuindo esse resultado à produção capital-intensiva da agricultura brasileira, bem como à produtividade da terra. Gasques *et al.* (2014) destacaram que, entre 1975 e 2012, a Produtividade Total dos Fatores (PTF) agrícola cresceu 3,52% ao ano em média, superando a taxa de crescimento da PTF de Estados Unidos, Austrália e Argentina. Contudo, os autores ressaltam a necessidade de investimentos em pesquisas para que o Brasil continue nessa tendência. Esse alerta também foi feito por Nyko *et al.* (2013), que citaram a redução dos ganhos de rendimento agrícola e deterioração da difusão tecnológica no setor sucroenergético entre 2005 e 2012. Além disso, Nyko *et al.* (2013)¹ mostraram que, entre os anos de 1961 e 2011, a cana-de-açúcar teve ganhos da ordem de 40% no período, enquanto a produção de milho teve 167%, por exemplo. A produtividade dos canaviais, segundo os autores, poderia ser quase seis vezes maior².

Além da geração de empregos e desenvolvimento regional, a exportação de açúcar tem contribuído historicamente com a geração de divisas e saldo positivo do balanço comercial (MORAES, 2000; VIAN, 2003; MORAES; ZILBERMAN, 2014). O etanol, por sua vez, foi incentivado em cenários de alta do preço do barril de petróleo no mercado mundial, visando suprir a demanda interna por derivados do combustível fóssil (RODRIGUES, 2015). A partir dos anos 1990, com o avanço das pautas ambientais, o setor torna-se estratégico para que o Brasil atinja suas metas de emissão de carbono (FILHO; MACEDO, 2011), como as assinadas nos Acordos de Paris (BRASIL, 2016).

Atualmente, a produção sucroenergética enfrenta desafios como a baixa rentabilidade econômica, canaviais envelhecidos, baixa produtividade agrícola e baixa capacidade de financiamento (NYKO *et al.*, 2013). Ademais, uma análise introdutória a partir dos dados levantados por UNICA (2017)³ indica estagnação produtiva na área industrial nos últimos 25 anos. Em relação à promoção de crédito subsidiado, visando o desenvolvimento dessa

¹ Ver Nyko *et al.* (2013), p. 407.

² Ver Nyko *et al.* (2013), p. 434.

³ Conforme apresentado na seção 2.2.

agroindústria, Ferracioli, Jacomini e Bacha (2016) apontaram a baixa absorção das linhas de crédito do BNDES⁴ direcionadas para o setor sucroenergético.

Encontrar formas de elevar a produtividade do setor se faz necessário para que a tendência seja revertida e o Brasil alcance seus objetivos socioeconômicos e ambientais. Deve-se ressaltar que, nesse caso, a produtividade não é apenas a produtividade da terra, mas a produtividade total dos fatores (PTF).

Nesse sentido, Salgado Junior *et al.* (2013) utilizaram um modelo *DEA*⁵ com dados de 355 usinas para safra 2008/2009 para avaliar a eficiência técnica do setor. Os resultados mostraram que a localização geográfica tem forte impacto para a eficiência operacional das usinas, sendo que as usinas mais eficientes estão no estado de São Paulo. Além disso, os autores não identificaram relação entre eficiência operacional e escala de produção das usinas. Xavier (2014) também utilizou um modelo *DEA* para dados 67 agroindústrias referentes à safra 2012/2013; os resultados destacaram os retornos constantes à escala, e que a região Centro-sul do Brasil é mais eficiente que a região Nordeste. Por outro lado, o trabalho não identificou diferenças na eficiência técnica entre as usinas instaladas no Sudeste e Centro-Oeste.

Pereira e Silveira (2016) avaliaram 17 usinas durante o período de 2001 e 2008, utilizando também um modelo *DEA* para decompor a Produtividade Total dos Fatores (PTF), a partir do Índice de *Malmquist*, que avalia separadamente a evolução da tecnologia e as inovações tecnológicas. Os resultados de Pereira e Silveira (2016) sugerem que as usinas não criam nem adotam inovações radicais de tecnologia, apenas seguem um movimento conjunto em direção a tecnologias já testadas e aprovadas pelo mercado.

Adicionalmente, uma série de trabalhos já foram realizados com a aplicação do método de fronteira estocástica para avaliar a eficiência técnica de produções agrícolas ou agroindustriais. O trabalho de Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), por exemplo, analisou a eficiência técnica e ambiental de fazendas leiteiras na Holanda, utilizando dados de 1545 fazendas. Já Theriault e Serra (2014) avaliam a eficiência técnica para fazendas produtoras de algodão em países da África Ocidental, utilizando 222 observações. Jiang e Sharp (2015), por sua vez, avaliaram a eficiência técnica para fazendas leiteiras na Nova Zelândia entre 1999 e 2007, contando com 2072 observações. Por fim, destaca-se também Mello-Becerra e Orozco-Gallo (2016), que pesquisaram a eficiência técnica da produção de café e lácteos em fazendas

⁴ Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

⁵ Em inglês, *Data Envelopment Analysis*. Ver Xavier (2009) para detalhes.

colombianas utilizando entre 135 e 622, variando de acordo com cada um dos quatro sistemas analisados pelos autores.

O objetivo desse trabalho é estimar o nível de eficiência técnica das usinas e identificar quais são os seus determinantes na produção industrial de açúcar e etanol. Para tanto, utilizou-se como metodologia a Análise de Fronteira Estocástica (*SFA*)⁶. A base de dados utilizada é um painel desbalanceado composto por 121 usinas das principais regiões produtoras, ou seja, Centro-Sul e Nordeste, ao longo de quatro anos-safra, totalizando 315 observações⁷. O melhor ajuste econométrico foi a partir do modelo de dados em painel com efeitos aleatórios e a forma funcional translog.

Identificar os determinantes da eficiência técnica na agroindústria sucroenergética é importante para otimizar a alocação dos recursos escassos e, assim, recuperar níveis mais elevados de produção e produtividade. A maioria dos trabalhos até o momento utilizaram o método *DEA* para avaliar esses indicadores; Xavier (2014), por exemplo, sugeriu que trabalhos futuros utilizem o método da fronteira estocástica para validar os resultados dos seus trabalhos tão logo consiga-se um maior número de observações.

Portanto, a contribuição desta pesquisa ocorre em duas frentes: (i) na abordagem metodológica e (ii) na utilização de dados. A contribuição na frente metodológica ocorre ao explorar as potencialidades da metodologia de fronteira estocástica para captar potenciais determinantes de ineficiência ao nível das unidades produtoras de açúcar e etanol no Brasil, complementando a literatura mais extensa disponível que tem utilizado o método *DEA*. Já o uso de dados referentes aos quatro anos-safras mais recentes permite a análise das unidades produtivas em diferentes pontos do tempo para um período mais recente. Ademais, a análise dos determinantes da eficiência pode contribuir para o aprimoramento e execução de políticas públicas direcionadas ao setor.

Desta forma, este trabalho está dividido em mais 4 seções. A seção 2 apresenta uma breve revisão histórica da cana-de-açúcar no Brasil e, em seguida, caracteriza a produção sucroenergética brasileira. A seção 3 descreve a metodologia e a base de dados utilizados no modelo empírico. Finalmente, a seção 4 apresenta os resultados do modelo, interpretações e inferências a partir dos mesmos, e a seção 5 as considerações finais.

⁶ Em inglês, *Stochastic Frontier Analysis*. Ver Kumbhakar e Lovell (2000).

⁷ Ou seja, apresenta quantidade de dados compatível com outros trabalhos com o de Theriault e Serra (2014) e Mello-Becerra e Orozco-Gallo (2016).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Breve histórico da produção sucroenergética

A cana-de-açúcar está presente no Brasil desde o período colonial com a atividade açucareira e, a partir do século XX, também com a produção de etanol (Vian, 2003). O desenvolvimento do setor sucroenergético no século XX foi acompanhado pela intervenção estatal (MORAES, 2000; VIAN, 2003; MORAES; ZILBERMAN, 2014). Segundo Vian (2003), a intervenção estatal ocorreu antes mesmo da Primeira Guerra Mundial, num cenário de superprodução e, já na década de 1920, os governos de Pernambuco e Rio de Janeiro criaram entidades reguladoras da oferta de açúcar. No contexto da crise de 1929, o governo provisório instituiu o Decreto nº 19.717, de 20 de fevereiro de 1931, o qual tornou obrigatório a mistura de ao menos 5% de etanol anidro nacional na gasolina importada.

Na década de 1930 foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) para regular a produção sucroalcooleira e, assim, evitar as crises de superprodução e escassez de açúcar (MORAES, 2000; ZILBERMAN; MORAES, 2014). Até a Segunda Guerra Mundial, o Nordeste era a principal região produtora de açúcar do Brasil, e Pernambuco era o estado com maior produção. Em 1946, o IAA permitiu que o Sudeste expandisse sua produção pelo Decreto-Lei Nº 9827⁸, iniciando o aumento da participação do Centro-Sul em relação ao Nordeste (MORAES, 2000; VIAN, 2003; MORAES; ZILBERMAN, 2014). Em 1966, o Decreto-Lei 1974/66 dividiu o país nas regiões Centro-Sul e Nordeste com o objetivo de proteger a indústria da cana no Nordeste. O IAA regulava o comércio de açúcar entre as regiões, visto que, devido à política de preços adotada, o Centro-Sul era capaz de produzir e comercializar açúcar no Nordeste a preços competitivos (MORAES, 2000; MORAES; ZILBERMAN, 2014).

A partir da década de 1970, com o Proálcool, o setor ganhou destaque nas questões de segurança energética do país, em reação aos choques do petróleo. Os anos 1980 foram marcados pela consolidação do Proálcool, a expansão da frota de álcool-motores e também do esgotamento da capacidade de financiamento do estado brasileiro. Após o rápido crescimento da demanda na primeira metade da década, a política econômica voltada para o controle da inflação e da dívida pública reduziu o crédito disponível ao setor, evidenciando a necessidade

⁸ Durante a Segunda Guerra mundial, o transporte da produção de açúcar do Nordeste para o sudeste foi comprometido pela insegurança de navegar no oceano Atlântico. (MORAES, 2000) p. 49.

de aumento da produtividade agrícola e industrial para que o Proálcool continuasse em desenvolvimento (MORAES, 2000; MORAES; ZILBERMAN, 2014).

Durante a década de 1990, o setor passou pelo processo de desregulamentação (MORAES, 2000; MORAES; ZILBERMAN, 2014). Em 1996, a Portaria do Ministério da Fazenda Nº 64 definiu que os preços do açúcar e etanol não seriam mais controlados a partir de 1º de janeiro de 1997. Contudo, essa data sofreu dois adiamentos e entrou em vigor apenas em 1º de fevereiro de 1999. Nesse ínterim, foram criadas diversas instituições no Brasil, entre elas, a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) que, junto com a Organização dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (ORPLANA) formaram o Conselho de Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA), um conselho técnico-econômico com o objetivo de criar uma metodologia para remuneração da cana-de-açúcar e, assim, apresentar regras para negociação entre fornecedores e usinas após o fim da intervenção estatal. O Sistema CONSECANA ainda vigora para precificar a cana-de-açúcar⁹.

Nos anos 2000, o ambiente econômico estava aquecido com o ciclo de *commodities* em alta e a produção sucroenergética recebeu um novo impulso. No mercado doméstico, o aumento da frota *flex-fuel*¹⁰ elevou a demanda pelo etanol hidratado e, dessa forma, aqueceu a indústria sucroenergética (MILANEZ; NYKO, 2011; MORAES, 2000; MORAES; ZILBERMAN, 2014; RODRIGUES; BACCHI, 2017). Entre 2005 e 2013, 118 novas usinas foram instaladas (MORAES; ZILBERMAN, 2014); no entanto, esse ciclo de expansão começou a ser revertido com a crise de 2008, em um período de fusões e aquisições de usinas independentes por grandes grupos e *holdings* internacionais¹¹ (MORAES, 2000; MORAES; ZILBERMAN, 2014). Nesse período, a cogeração de energia elétrica já era vista como um produto potencial e interessante para a matriz energética brasileira, e institucionalmente viável devido às reformas no setor elétrico brasileiro (MILANEZ; NYKO, 2011; CASTRO *et al.*, 2011).

A primeira metade da década de 2010 foi um período de baixa rentabilidade para as usinas, com preços deprimidos e custos crescentes (PECEGE, 2014; PECEGE, 2015; PECEGE, 2016). Ademais, a estagnação da produtividade apontada por Nyko *et al.* (2013) pode

⁹ Ver CONSECANA (2006) para maiores detalhes sobre a metodologia de remuneração da cana-de-açúcar.

¹⁰ A frota *flex-fuel* refere-se aos automóveis que podem ser abastecidos tanto com gasolina quanto etanol. Essa flexibilidade tecnológica permite aos agentes econômicos decidirem qual combustível utilizar de forma a minimizar seus custos.

¹¹ O início desse processo remonta ao final da década de 1990, com seu início descrito em Vian (2003), p.178.

comprometer a situação econômica do setor: com baixa rentabilidade, não há recursos para investir no aumento da produtividade e, sem investir, não se obtém maior rentabilidade.

Nesse sentido, Ferracioli, Bacha e Jacomini (2016) avaliaram a contribuição do BNDES para o setor sucroenergético durante entre o período de 2000 a 2015. Nesse período, o BNDES inaugurou linhas de crédito para a sustentabilidade do setor agropecuário brasileiro e, entre eles, o BNDES Pass, o Paiss e o BNDES Prorenova foram específicos para o setor sucroenergético. Os autores destacaram que apesar da melhora na absorção do crédito entre o período de 2000 a 2015, os resultados obtidos parecem não atender os objetivos iniciais dos programas.

2.2. Caracterização da produção sucroenergética no Brasil

A produção de cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene (na forma que é praticada no Brasil) que após seu plantio no ano t , pode ser colhida até $t + s$ anos. O número de ciclos, ou cortes, que são mantidos nos canaviais até que sejam reformados ou seja, replantados, varia de acordo com características da variedade biológica utilizada, condições edafoclimáticas e práticas agrícolas. Os principais estágios da produção de cana-de-açúcar são: (i) formação do canavial, que engloba o preparo de solo, plantio e tratos culturais da cana planta¹²; (ii) tratos culturais da cana soca¹³ e; (iii) colheita. Já a produção de açúcar e etanol na indústria tem como etapas: (i) recepção e preparo da cana-de-açúcar; (ii) extração e tratamento do caldo; (iii) fabricação de açúcar e/ou (iv) fermentação e destilação para produção de etanol (MARQUES, 2009). Nesta pesquisa, o foco de análise está na etapa industrial de produção. Nesse sentido, o fluxograma destacado na Figura 1 apresenta o processo industrial de forma simplificada.

¹² Cana planta é o nome dado para denominar a cana entre o plantio e o primeiro corte.

¹³ Cana soca é o nome dado para denominar a cana de rebrota, ou seja, após o primeiro corte.

Figura 1 - Fluxograma de produção industrial simplificado.

Fonte: Elaboração própria.

No Brasil, a produção da cana-de-açúcar concentra-se nos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Alagoas e Pernambuco. Esses estados, juntos, produziram 90% de todo o cultivo nacional durante a safra 2015/2016. Essas regiões, ilustradas pela Figura 2, correspondem às regiões Centro-Sul do Brasil e Nordeste. No Centro-Sul, o período de safra ocorre entre abril e novembro do ano seguinte, enquanto no Nordeste, a safra ocorre entre setembro e fevereiro do ano seguinte (MARQUES, 2009). A região Nordeste é composta principalmente por Alagoas e Pernambuco, enquanto a região Centro-Sul é composta pelos demais estados. Além disso, a região Centro-Sul é desagregada por PECEGE (2016) em duas regiões: (i) Centro-Sul Tradicional, que corresponde aos estados de São Paulo e Paraná; (ii) Centro-Sul Expansão, que corresponde aos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Nessa pesquisa, por facilidade, definiu-se as regiões como Tradicional e Expansão, respectivamente.

Figura 2 - Distribuição espacial da produção e processamento de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: UNICA (2017), com base nos dados de IBGE, CTC* e Nipe-UNICAMP.

* Centro de Tecnologia Canavieira

A produção de cana-de-açúcar cresceu rapidamente durante os últimos 25 anos, conforme apresenta a Figura 3. Entre 1990 e 2015, a produção total cresceu 4,38% ao ano em média para os estados selecionados, sendo 5,08% ao ano na região Centro-Sul e -1,53% ao ano na região Nordeste. Nesse período, a representatividade da região Nordeste recuou, enquanto a região Centro-Sul aumentou sua participação. O avanço da produção no Centro-Sul acompanhou a expansão da frota *flex-fuel* ao longo dos anos 2000, devido ao aumento do número de usinas¹⁴, sendo que as novas unidades instaladas apresentaram foco na produção de etanol, principalmente as localizadas em Goiás e Mato Grosso do Sul (MORAES; ZILBERMAN, 2014).

¹⁴ Ver Moraes e Zilberman (2014), p. 178.

Figura 3 - Evolução da produção de cana-de-açúcar dos principais estados produtores e a representatividade nacional das principais regiões produtoras. Valores entre os anos de 1990 e 2015.

Fonte: Elaboração própria com base em dados de UNICA (2017).

Por outro lado, a produtividade da terra nessas regiões não acompanhou o mesmo nível de crescimento da produção, conforme apresentado na Figura 4. Nesse período, a produtividade agrícola dos canaviais cresceu, em média, 0,41% ao ano na região Centro-Sul e 0,01% na região Nordeste. Destaca-se, na região Centro-Sul, as quebras de safra em 2000 e 2010, nas quais a produtividade média caiu mais de 10 toneladas por hectares (t/ha).

Nesse sentido, o crescimento da produção verificado entre 1990 e 2015 ocorreu, principalmente, por expansão da área de cultivo. A área de produção dos estados selecionados, ilustrada na Figura 5, cresceu em média 3,64% ao ano, sendo 4,67% ao ano para a região Centro-Sul e -1,54% para a região Nordeste. Nota-se que, nos anos 2000, a área agrícola apresentou crescimento constante, acompanhando o ciclo positivo de *commodities* e de expansão da demanda por etanol.

Figura 4 - Evolução da produtividade agrícola (t/ha) dos canaviais da região Centro-Sul e Nordeste. Valores entre os anos de 1990 e 2015.

Fonte: Elaboração própria com base em UNICA (2017).

Figura 5 - Evolução da área cultivada cana-de-açúcar nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre os anos de 1990 e 2015.

Fonte: Elaboração própria com base em UNICA (2017).

A produtividade agroindustrial, ou seja, a produção de açúcar e etanol a partir da produção de cana-de-açúcar, pode ser avaliada em duas bases: (i) total de produtos industriais obtidos por um hectare de cana-de-açúcar e (ii) total de produtos industriais obtidos por uma tonelada de cana. Agrupando os produtos industriais em dois grupos (açúcar e etanol), a produção unitária resulta em um par ordenado (Y_1^A, Y_1^E) representado pela Figura 6. A dimensão vetor de produção OA corresponde à norma euclidiana entre os pontos O e A . Dessa forma,

calculou-se a dimensão do vetor de produção para cada região entre os anos de 1990 e 2015, e foi construído um número índice com base em 1990 para cada série temporal.

Figura 6 - Construção do vetor de produção industrial por unidade agrícola.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 7 e a Figura 8 apresentam o índice de produtos industriais obtidos a partir de um hectare e de uma tonelada de cana, respectivamente. No Nordeste, apesar do crescimento da produtividade agroindustrial por hectare observada nos anos 2000, a perda de competitividade registrada na década de 2010 fez com que o crescimento médio tenha sido de 0,66% ao ano, enquanto na região Centro-Sul foi 0,70% ao ano.

Os patamares elevados da produtividade agroindustrial no Nordeste durante os anos 2000 deveram-se, basicamente, ao aumento da produtividade agrícola no mesmo período (Figura 4), como pode ser observado também pela comparação entre a Figura 7 e a Figura 8. Enquanto a produção agroindustrial do Nordeste, obtida a partir de um hectare, obteve índice médio de 179,59 durante os anos 2000, a produção industrial por tonelada de cana obteve índice médio de 132,75.

Figura 7 - Evolução de produção industrial por hectare de produção de cana das regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre 1990 e 2015 (1990 = 100).

Fonte: Elaboração própria com base em UNICA (2017).

Figura 8 - Evolução de produção industrial por tonelada de produção de cana das regiões Centro-Sul e Nordeste. Valores entre 1990 e 2015 (1990 = 100).

Fonte: Elaboração própria com base em UNICA (2017).

Comparando as regiões, o crescimento anual médio da produtividade por hectare dos últimos 25 anos na região Nordeste foi 0,66%, enquanto a região Centro-Sul registrou crescimento de 0,70% ao ano. Já em relação à produtividade industrial por tonelada de cana, os indicadores foram 0,65% ao ano para a região Nordeste e 0,28% ao ano para a região Centro-Sul.

Em outras palavras, a análise dos índices de produtividade agrícola e agroindustrial corroboram com as evidências de estagnação da eficiência produtiva no setor sucroenergético, principalmente na etapa industrial. A maior produção observada nos últimos anos, em resposta

ao aumento da demanda interna e externa, ocorreu principalmente pelo aumento da área cultivada, e não por maior eficiência dos processos ou inovações tecnológicas.

3. METODOLOGIA

3.1. Análise de Fronteira Estocástica

A análise de fronteira estocástica é uma metodologia desenvolvida para estimar a eficiência dos agentes econômicos. Kumbhakar e Lovell (2000) realizaram uma extensa revisão histórica a respeito das pesquisas e métodos para mensuração dos níveis de eficiência

Objetivamente, Kumbhakar e Lovell (2000) indicaram que, ao estimar as funções de produção, é necessário atentar-se para um termo além do erro aleatório. Diferentes produtores podem ter maiores (menores) produções mesmo empregando os mesmos fatores de produção, uma vez que podem ter maiores (menores) níveis de tecnologia empregados. Sendo assim, há um nível de produção potencial, definida pela melhor tecnologia identificada.

A Figura 9 ilustra os conceitos de eficiência e produção potencial: os eixos y_1 e y_2 representam a produção de dois bens distintos e $P(x)$ denota a fronteira de possibilidade de produção. Nesse sentido, um nível de produção representado pelo ponto y encontra-se abaixo do seu nível potencial y/μ^* . A distância entre os dois pontos representa a ineficiência técnica da produção para um dado *mix* de produção.

Figura 9 - Representação da eficiência técnica pela ótica do produto para uma firma com dois produtos.

Fonte: Kumbhakar e Lovell (2000), p. 31.

O modelo de fronteira estocástica utilizado neste trabalho está baseado nas especificações de Aigner, Lovell e Schmidt (1977), as quais foram adotadas recentemente por Theriault e Serra (2014), que definiram o modelo como:

$$Y_i = f(X_i; \beta) = \exp(X_i\beta + \varepsilon_i), i = 1, \dots, N \quad (1)$$

onde Y_i representa a produção do agente i , X_i representa o vetor dos fatores de produção de i e β é o vetor de parâmetros desconhecidos a serem estimados pelo modelo. O termo ε_i refere-se ao erro composto, o qual pode ser desagregado em dois componentes, conforme apresentados pela expressão (2). O termo v_i representa o componente aleatório com distribuição Normal, média zero e variância constante, enquanto u_i é o componente de ineficiência técnica a ser estimado.

$$\varepsilon_i = v_i - u_i \quad (2)$$

Nesta pesquisa, admite-se também que u_i tem distribuição *half-normal*¹⁵, assim como feito por Theriault e Serra (2014). O índice de ineficiência do i -ésimo produtor pode ser obtido conforme ilustra a expressão (3).

$$TE_i = \frac{Y_i}{Y_i^*} = \frac{Y_i}{\exp(X_i\beta + v_i)} = \frac{\exp(X_i\beta + v_i - u_i)}{\exp(X_i\beta + v_i)} = \exp(-u_i) \quad (3)$$

A eficiência técnica pode ser afetada por outros fatores do ambiente de produção, sendo assim, componentes importantes para a análise da produtividade. É possível estimar o quanto o ambiente de produção pode alterar o nível de ineficiência técnica expandindo a definição de u_i (KUBHAKAR; LOVELL, 2000; THERIAULT, SERRA; 2014). A expressão (4) pode ser substituída na expressão (1), para que as estimações sejam feitas simultaneamente.

$$u_i = z_i\delta + w_i \quad (4)$$

onde z_i é o vetor de indicadores que afetam a ineficiência técnica e δ é o vetor de parâmetros a ser estimado.

A base de dados desta pesquisa contém informações de usinas distribuídas ao longo de quatro safras, o que permite utilizar modelos com dados em painel e, dessa maneira, controlar as heterogeneidades individuais relacionadas a cada usina. Conforme apontam Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), diversos modelos procuraram controlar as heterogeneidades individuais dos agentes econômicos, mas acabaram por superestimar (subestimar) a ineficiência (eficiência), pois não dissociam, de fato, heterogeneidades e nível de eficiência.

¹⁵ Ver Kumbhakar e Lovell (2000) e Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015). Kumbhakar e Lovell (2000) destacaram que a distribuição paramétrica escolhida não afeta o *ranking* de eficiência estimado.

Além disso, o uso de dados em painel permite também relaxar algumas hipóteses acerca do nível de eficiência. Em outras palavras, o nível de ineficiência não deve ser fixo ao longo do tempo, visto que os agentes econômicos podem reconfigurar sua forma de produção, e assim alterar seu nível de eficiência. Portanto, é possível considerar dois componentes de ineficiência: um que seja persistente ao longo do tempo, ou seja, uma ineficiência estrutural, e uma ineficiência que varie ao longo do tempo, ou, conjuntural.

Nesse sentido, Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) descreveram uma alternativa ao modelo de Colombi, Martini e Vittadini (2011) para utilizar modelos que separam a heterogeneidade das firmas, a ineficiência de curto e de longo prazo. A expressão (5) apresenta o modelo geral.

$$y_{it} = \alpha_0 + f(x_{it}, \beta) + \mu_i + v_{it} - \eta_i - u_{it} \quad (5)$$

Em que,

η_i e u_{it} são os componentes de ineficiência, enquanto μ_i capta a heterogeneidade das firmas e; v_{it} é o resíduo, aleatório com média zero e variância constante.

Note-se que η_i não varia ao longo do tempo, e u_{it} varia.

Para estimação econométrica, Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) sugeriram um procedimento em três etapas para desenvolver a análise de fronteira estocástica com dados em painel, considerando os termos de ineficiência com distribuição *half-normal*, que são apresentadas a seguir.

Etapla I: estimar um modelo com dados em painel, tal que:

$$y_{it} = \alpha_i + f(x_{it}, \beta) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

em que são obtidos o resíduo estimado e os componentes individuais estimados. O modelo pode apresentar efeitos fixos ou efeitos aleatórios.

Etapla II: os resíduos estimados na etapa I devem ser desagregados em outros componentes, o de ineficiência de que varia ao longo do tempo e o termo aleatório, com média zero e variância constante:

$$\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it} + E(u_{it}) \quad (7)$$

Admitindo que v_{it} é i.i.d¹⁶ e $N(0, \sigma_v^2)$ e u_{it} é $N^+(0, \sigma_u^2)$, é possível estimar u_{it} a partir da técnica padrão de fronteira estocástica. Aqui, $\exp(-u_{it}|\varepsilon_{it})$ será mencionado também como

¹⁶ i.i.d é uma sigla para independente e identicamente distribuído.

RTE , ou seja, o componente residual da eficiência técnica. Esse componente representa parte da eficiência que pode variar ao longo do tempo, ou seja, uma eficiência de curto prazo, que os agentes econômicos conseguem variar ao longo do período analisado. Ademais, $E(u_{it})$ é igual à $\sqrt{2/(\pi\sigma_u)}$. Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015) destacaram também que ignorar a diferença entre os valores reais e os estimados, conforme descrito, é comum em procedimentos em múltiplas etapas.

Etapa III: de forma análoga ao realizado na etapa II, é possível desagregar α_i em outros dois componentes, sendo μ_i o resíduo com média zero e variância constante e, η_i , o componente de ineficiência persistente ao longo do tempo.

$$\alpha_i = \mu_i - \eta_i + E(\eta_i) \quad (8)$$

Admitindo μ_i i.i.d. e $N(0, \sigma_\mu^2)$ e η_i i.i.d. $N^+(0, \sigma_\eta^2)$ é possível estimar os valores a partir de uma fronteira estocástica comum. Aqui, $\exp(-\eta_{it})$ será mencionado também como PTE por ser o componente persistente da eficiência técnica. Em outras palavras, PTE é o componente de eficiência que os agentes econômicos não conseguem mudar no período de análise, uma eficiência de longo prazo. Por fim, $E(\eta_i) = \sqrt{2/(\pi\sigma_\eta)}$.

Destaca-se que, para obter u_{it} e η_i , é necessário gerar uma constante fixa, de maneira a permitir a execução do modelo. Essa constante corresponde à um vetor unitário $[1]_{it,1}$, o qual será chamado de *onee*, assim como foi adotado por Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015).

Obtidos os componentes de ineficiência de residual e persistente, o nível geral de eficiência pode ser calculado como:

$$OTE = PTE * RTE \quad (9)$$

O nível geral de eficiência técnica, ***OTE***, é o indicador que será comparado com os demais trabalhos analisados presentes na literatura econômica apresentada neste trabalho.

3.1.1. Funções de produção do modelo empírico

As duas especificações para a função de produção utilizadas para estimar o modelo empírico foram: (i) *Cobb-Douglas* e (ii) *Translog*. As características intrínsecas a cada especificação são descritas em Silberberg e Suen (2001), e Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015). Genericamente, a função *Cobb-Douglas* é apresentada na forma logarítmica pela expressão (10) e a *translog*, na expressão (11)

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \ln X_{ij} - \sum_{j=1}^n \delta_j z_{ij} - w_i + v_i \quad (10)$$

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^m \beta_j \ln X_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_{jk} \ln X_{ji} \ln X_{ki} - \sum_{j=1}^m \delta_j z_{ij} - w_i + v_i \quad (11)$$

Nesta pesquisa, o modelo *Translog* incorporou as adaptações propostas por Coelli *et al.* (2003). Essa adaptação torna o coeficiente estimado idêntico à elasticidade da variável em relação à produção¹⁷.

Dessa maneira, existem quatro combinações a serem testadas neste trabalho, sendo duas formas funcionais, *Cobb-Douglas* (CD) e *Translog* (TL), combinadas a dois modelos de painel, efeitos fixos (FE) e efeitos aleatórios (RE). A Tabela 1 resume as combinações e siglas utilizadas para referenciar cada uma delas.

Tabela 1 - Definição das combinações de formas funcionais e modelos utilizados.

Forma funcional	Modelo	
	Efeitos Fixos (FE)	Efeitos Aleatórios (RE)
<i>Cobb-Douglas</i> (CD)	CD_FE	CD_RE
<i>Translog</i> (TL)	TL_FE	TL_RE

Fonte: Elaboração própria.

3.2. Bases de dados

Os dados utilizados nos modelos de fronteira estocástica estimados neste trabalho consistem em fontes primárias obtidas pelo Projeto Campo Futuro da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)¹⁸. Por meio de um convênio com o Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (PECEGE ESALQ USP), um grupo de extensão da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), os dados foram coletados via questionários¹⁹ e visitas a campo.

¹⁷ Para mais detalhes sobre a transformação, ver Coelli *et al.* (2003), p. 33. Uma breve explicação está destaca no ANEXO A.

¹⁸ A descrição detalhada do projeto encontra-se em Marques (2009) e Xavier (2014).

¹⁹ O Questionário Simplificado (QS) utilizado para coletar os dados pode ser obtido em: <http://pecegesucro.pecege.com/home.php?sc=env>. O ANEXO B contém uma cópia representativa desse questionário.

Os dados são levantados desde a safra 2007/2008, e a metodologia de coleta sofreu ajustes ao longo do tempo. As informações utilizadas nesta pesquisa estão disponíveis a partir da safra 2013/2014 e, portanto, referem-se às safras 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 e 2016/2017, ou seja, as quatro safras mais recentes disponíveis. A caracterização regional e temporal da amostra utilizada pela pesquisa está sumarizada na Tabela 2. Destaca-se que as regiões Expansão e Tradicional são componentes da região Centro-Sul do Brasil²⁰. A representatividade da amostra, por sua vez, está expressa na Tabela 3.

Durante o período, 121 usinas diferentes foram amostradas, não necessariamente durante as quatro safras.

Tabela 2 - Distribuição geográfica e temporal das usinas presentes no recorte amostral utilizado pela pesquisa.

Região	Safras				Total
	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	
Expansão	31	35	38	30	134
Tradicional	23	32	38	30	123
Nordeste	14	14	13	17	58
<i>Centro-Sul</i>	<i>54</i>	<i>67</i>	<i>76</i>	<i>60</i>	<i>257</i>
<i>Total</i>	<i>68</i>	<i>81</i>	<i>89</i>	<i>77</i>	<i>315</i>

Fonte: Elaboração própria com base em PECEGE (2014), PECEGE (2015), PECEGE (2016) e PECEGE (2017).

²⁰ Nos trabalhos de PECEGE/CNA também é comum ver essas regiões denominadas como Centro-Sul Tradicional e Centro-Sul Expansão. As regiões em questão possuem diferenças históricas do desenvolvimento da produção, bem como condições edafoclimáticas distintas.

Tabela 3 - Representatividade da amostra por região utilizada na pesquisa, em relação ao número de usinas e ao total de cana processada. Valores em porcentagem (%).

Região	Safras							
	2013/2014		2014/2015		2015/2016		2016/2017	
	Moagem	Usinas	Moagem	Usinas	Moagem	Usinas	Moagem	Usinas
Expansão	38,73	26,72	47,73	32,11	53,06	33,63	26,26	26,55
Tradicional	15,63	11,27	21,00	16,93	23,57	20,11	10,57	15,54
Nordeste	29,88	20,00	34,73	18,67	19,17	16,67	27,00	22,97
<i>Centro-Sul</i>	22,92	16,88	29,37	22,48	33,71	25,17	15,81	19,61
<i>Total</i>	23,47	17,44	29,80	21,72	31,99	23,42	16,52	20,26

Fonte: Elaboração própria com base em PECEGE (2014), PECEGE (2015), PECEGE (2016) e PECEGE (2017).

De forma alternativa, a distribuição da amostra está representada na Figura 10, na qual foram destacadas as microrregiões das usinas amostradas entre as safras 2013/2014 e 2016/2017. Observa-se que o sul de Goiás e o sul do Mato Grosso do Sul são exemplos de regiões com elevada amostragem se comparadas com o centro-norte do Tocantins, ou oeste do Mato Grosso.

Figura 10 - Distribuição espacial das usinas amostradas ao longo das quatro safras avaliadas na pesquisa.

Fonte: Elaboração própria.

3.2.1. Estatística descritiva dos dados usados no modelo empírico

Os diferentes trabalhos revisados adotaram diferentes variáveis e recortes amostrais para estimar a eficiência das usinas brasileiras, conforme mostra a Tabela 4. Entre eles, Xavier (2014)²¹ foi o que utilizou mais variáveis de entrada (*input*) e saída (*output*) do modelo, enquanto Pereira e Silveira (2016) adotaram o maior recorte temporal, e Salgado Junior *et al.* (2013) apresentaram o maior número de usinas amostradas.

Tabela 4 - Comparação das amostras utilizadas em diferentes trabalhos sobre a eficiência do setor sucroenergético.

Autor	Região	Método	T ¹	N ²	Fonte de dados	Input	Output
PEREIRA, SILVEIRA (2016)	Centro-Sul	DEA	2001 a 2008	17	Fermetec UNICA	Moagem e mão de obra industrial	Açúcar e etanol convertidos
XAVIER (2014)	Centro-Sul e Nordeste	DEA	2012	67	PECEGE/CNA	Terra, Cana comprada, mão de obra industrial e administrativa	Açúcar e etanol convertidos + eletricidade
SALGADO JUNIOR <i>et al.</i> (2013)	Brasil	DEA	2008	355	Anuário da Cana	Moagem	Açúcar e etanol

Fonte: Elaboração própria.

¹ T refere-se ao recorte temporal da pesquisa

² N refere-se ao número de usinas avaliadas

O presente trabalho, por sua vez, utiliza diferentes variáveis para ajuste do modelo empírico devido aos indicadores disponíveis na base de dados utilizada, e ao método de análise escolhido. Como *proxy* para estoque de capital industrial, utilizou-se a capacidade instalada de processamento em toneladas de cana por safra pois, no questionário coletado por PECEGE/CNA, não há dados acerca do montante de ativo imobilizado para cada usina.

Para força de trabalho utilizou-se o número total de funcionários alocados na indústria, assim como foi realizado por Pereira e Silva (2016), mas diferente do adotado por Xavier (2014), que também considerou os funcionários do departamento administrativo. Por definição, a administração não é efetivamente empregada no módulo produtivo, embora seja indispensável para a organização dos processos e eficiência alocativa dos recursos. Assim, uma vez que esta pesquisa não aborda questões de eficiência alocativa, optou-se por não incluir os funcionários desse departamento na análise. Destaca-se, ainda, que funcionários alocados na administração

²¹ Xavier (2014) utilizou também um vetor de preços das respectivas variáveis utilizadas para avaliar a eficiência alocativa dos recursos.

das atividades operacionais da indústria foram considerados como componentes da força de trabalho.

Já para insumos, assim como feito por Xavier (2014), mas diferente de Pereira e Silveira (2016) e Salgado Junior *et al.* (2013), adotou-se a divisão dos insumos em duas categorias: produção de matéria-prima própria e compra de matéria-prima de fornecedores. Ademais, a matéria-prima foi mensurada de acordo com sua qualidade, ou seja, a quantidade de açúcares no início no processo industrial.

Entre os indicadores, deve-se destacar que tanto a produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol tiveram seus valores convertidos em Açúcares Redutores Totais (ART), conforme metodologia apresentada por Fernandes (2011). O ART corresponde aos açúcares presentes na cana-de-açúcar que são efetivamente utilizados no processo de produção sucroenergético, seja pelo processo de cristalização e obtenção de sacarose ou pela fermentação e destilação para obtenção de etanol. Essa conversão é feita a partir dos coeficientes técnicos de produção, fundamentados em cálculos estequiométricos²². A base de dados utilizada disponibiliza os valores já convertidos para os produtos industriais, ou seja, açúcar e etanol.

A vantagem dessa conversão para etapa industrial é poder agregar a produção agroindustrial em um único indicador. Já para a matéria-prima, a conversão é válida por representar todos os açúcares da cana-de-açúcar na forma de açúcares redutores ou açúcar invertido, que são os atributos essenciais na produção de açúcar e etanol. Essa conversão foi utilizada também em Xavier (2014), e é descrita por Fernandes (2011) como necessária para calcular a eficiência industrial geral²³. Por fim, os dados utilizados para elaboração do modelo empírico estão resumidos na Tabela 5.

²² O ANEXO C apresenta brevemente os cálculos realizados para conversão das variáveis.

²³ O questionário coleta valores de produção desagregados em três subtipos tanto para o açúcar quanto para o etanol. O açúcar se subdivide em açúcar branco, açúcar VHP (*Very High Polaryzed*) e açúcar outros, enquanto o etanol é dividido em etanol anidro, etanol hidratado e etanol outros.

Tabela 5 - Variáveis utilizadas no modelo empírico.

Variável	Variável utilizada	Unidade	Descrição
<i>Y</i>	Produção de açúcar e etanol	t	ART equivalente das produções de açúcar e etanol
<i>K</i>	Capacidade industrial	t/safra	Capacidade nominal de processamento
<i>L</i>	Mão de obra na usina	pessoas	Mão de obra alocada na área industrial
<i>H</i>	Produção de ART próprio	t	ART adquirido pela produção de cana própria
<i>S</i>	Cana de fornecedores	t	ART adquirido pela compra de cana de fornecedores

Fonte: Elaboração própria.

Os indicadores das três safras disponíveis no banco de dados foram empilhados para a composição das informações disponíveis. A Tabela 6 apresenta a estatística descritiva das variáveis utilizadas no modelo empírico, com as informações divididas de acordo com as regiões produtoras no Brasil. A dispersão dos dados destaca as características produtivas de cada região. Por exemplo, a capacidade de moagem média em ambas as regiões do Centro-Sul são cerca de três milhões de toneladas, enquanto no Nordeste é cerca de 1,5 milhão de toneladas por safra. Além disso, a análise do coeficiente de variação indica variações inter-regionais e, novamente no caso da capacidade de moagem, nota-se dispersão inter-regional semelhante: para a região Expansão, o coeficiente de variação da capacidade instalada é de 0,44, enquanto no Nordeste é de 0,47 e, para a região Tradicional, o indicador é 0,56.

Tabela 6 - Estatística descritiva das variáveis utilizadas para calibrar o modelo empírico.

Região / Variável	N	Mínimo	Média	Máximo	Coef. Var.*
Expansão					
Capacidade de moagem (t)	130	400.000	3.174.707	6.832.000	0,44
Força de trabalho (pessoas)	124	131	275	656	0,36
Cana própria (t)	133	0	256.883	713.895	0,55
Cana de terceiros (t)	133	0	124.263	532.104	0,82
Nordeste					
Capacidade de moagem (t)	56	700.000	1.450.710	3.315.000	0,47
Força de trabalho (pessoas)	45	193	382	641	0,32
Cana própria (t)	57	35.217	122.570	310.847	0,59
Cana de terceiros (t)	57	0	72.179	246.223	0,73
Tradicional					
Capacidade de moagem (t)	119	886.440	2.884.583	10.000.000	0,56
Força de trabalho (pessoas)	108	120	298	983	0,55
Cana própria (t)	123	0	246.412	823.208	0,63
Cana de terceiros (t)	123	0	104.464	534.557	0,90

Fonte: Elaboração própria.

*O Coeficiente de variação (Coef. Var.) é útil para comparar diferentes séries por ser adimensional. Ver Hoffmann (2006).

As características produtivas de cada região também afetam a variabilidade das informações apresentadas na Tabela 6. Entre as características afetadas pelas diferenças geográficas e socioeconômicas das regiões produtoras, pode-se destacar: (i) capacidade de moagem, (ii) participação de colheita mecanizada, e (iii) parcela de cana-de-açúcar produzida pelas usinas. A descrição estatística das variáveis selecionadas é resumida na Tabela 7. Seguindo o exemplo da capacidade de moagem, para região Expansão, 50% das usinas apresenta moagem igual ou menor à 3.122.480,00 de toneladas por safra, enquanto na região Nordeste esse indicador é de 1.300.000 de toneladas e, na região Tradicional, esse indicador é de 2.500.000 de toneladas. Destaca-se que, embora a usina com maior capacidade de moagem esteja na região Tradicional, com 10 milhões de toneladas, 95% das usinas amostradas apresentam capacidade de moagem inferior a seis milhões de toneladas.

Tabela 7 - Estatística descritiva de características selecionadas das usinas que compõem a amostra.

Região / Variável	N	p25	p50	p75	p95
<i>Expansão</i>					
Capacidade de moagem (t)	130	2.100.000,00	3.122.480,00	4.100.000,00	5.500.000,00
Força de trabalho (pessoas)	124	194,00	262,00	330,00	438,42
Cana própria (%)	133	52,00%	67,00%	88,00%	100,00%
<i>Nordeste</i>					
Capacidade de moagem (t)	56	945.250,00	1.300.000,00	1.700.000,00	3.000.000,00
Força de trabalho (pessoas)	45	249,00	398,00	470,00	566,00
Cana própria (%)	57	58,00%	63,00%	74,00%	100,00%
<i>Tradicional</i>					
Capacidade de moagem (t)	119	1.841.158,00	2.500.000,00	3.400.000,00	6.000.000,00
Força de trabalho (pessoas)	108	201,00	245,00	321,50	727,00
Cana própria (%)	122	60,00%	72,00%	84,00%	100,00%

Fonte: Elaboração própria.

Nota: p25 = 25º percentil, p50 = 50º percentil, p75 = 75º percentil e p95 = 95º percentil.

* Cana própria refere-se à produção de cana-de-açúcar pela própria usina.

Dentre as variáveis utilizadas no modelo, a força de trabalho é composta por diversos indicadores presentes no banco de dados. O questionário do PECEGE/CNA coleta o número de funcionários na indústria de acordo com o setor em que estão alocados, sendo eles: (i) fábrica de açúcar; (ii) fábrica de etanol; (iii) caldeiras; (iv) manutenção; (v) administração industrial; (vi) outros e; (vii) estoques. A dispersão intra-regional desses indicadores é relativamente elevada, sendo que o coeficiente de variação é maior que 1 para 7 das 23 subdivisões. A divisão “outros” é a mais numerosa em todas as três regiões amostradas, sugerindo que: ou as usinas possuem dificuldades para categorizar seus funcionários nas opções oferecidas pelo PECEGE/CNA, ou a maior parte dos funcionários atua em múltiplas funções, não sendo categorizável em uma opção exclusiva.

Tabela 8 - Composição da força de trabalho industrial de acordo com o setor em que cada funcionário está alocado.

Região / Variável	N	Mínimo	Média	Máximo	Coef. Var.
<i>Expansão</i>					
Fábrica de açúcar	121	0	26	77	0,87
Fábrica de etanol	124	0	25	80	0,69
Caldeiras	124	0	32	132	0,61
Manutenção	124	10	54	118	0,38
Administração industrial	124	1	15	126	1,25
Outros	123	0	101	313	0,54
Estoques	123	0	24	182	1,47
<i>Nordeste</i>					
Fábrica de açúcar	42	0	58	178	0,76
Fábrica de etanol	42	0	27	155	1,13
Caldeiras	42	16	30	54	0,40
Manutenção	42	8	94	292	0,64
Administração industrial	45	1	19	93	1,21
Outros	45	0	120	428	0,70
Estoques	41	0	44	156	0,85
<i>Tradicional</i>					
Fábrica de açúcar	108	0	33	295	1,35
Fábrica de etanol	108	0	22	77	0,61
Caldeiras	108	0	31	136	0,79
Manutenção	108	7	54	136	0,48
Administração industrial	107	1	16	111	1,03
Outros	106	0	117	376	0,59
Estoques	107	0	30	174	1,36

Fonte: Elaboração própria.

Informa-se ainda que dezoito observações tiveram os dados de produção industrial invalidados por apresentarem erros. Esses erros são, em geral, de preenchimento dos questionários, o que torna a produção de açúcar e etanol incompatível com os insumos utilizados. Por fim, destaca-se que nem todas as usinas apresentaram todos os dados em todos os anos, ou seja, é um painel desbalanceado. Dessa maneira, apesar da amostra inicial de 315 observações, os modelos empíricos avaliados podem conter menos observações.

3.2.2. Dados sobre financiamentos das usinas a partir de recursos do BNDES

Para incorporar indicadores de financiamento, foram coletados os valores obtidos via financiamento do BNDES para as usinas amostradas nesta pesquisa. Os dados foram obtidos no portal de transparência do BNDES²⁴ por meio de consultas utilizando o Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) das usinas. Entre os indicadores de financiamento divulgados, optou-se em analisar as operações financeiras indiretas, ou seja, aquelas em que as usinas captaram via operações com instituições bancárias habilitadas para liberação de crédito do BNDES²⁵.

A Tabela 9 resume as quatro linhas de financiamento verificadas a partir do levantamento no portal de transparência do BNDES, entre os anos de 2002 a 2016. Destaca-se que o BNDES Finame e o BNDES Automático são duas operações que correspondem a 92,89% do total financiado para as usinas amostradas no período de análise na categoria de operações financeiras indiretas. A distribuição da amostra de financiamentos adotada, por estados e ao longo do tempo, está no ANEXO D.

Tabela 9 - Descrição das linhas de financiamento levantadas no BNDES.

PRODUTO	Financiamentos realizados	Volume financiado (R\$)	Parcela de financiamentos	Parcela de volume financiado
BNDES FINAME	6400	6.298.873.675,11	84,69%	71,18%
BNDES FINAME Agrícola	756	526.263.933,08	10,00%	5,95%
BNDES Automático	238	1.921.421.540,30	3,15%	21,71%
BNDES FINAME Leasing	163	102.761.782,28	2,16%	1,16%
<i>Total</i>	<i>7.557</i>	<i>8.849.320.930,77</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

Fonte: Elaboração própria. Valores em R\$ de 2016, deflacionados pelo IPCA.

Nesse sentido, o indicador de acesso à crédito utilizado nesta pesquisa corresponde à soma dos recursos do BNDES Finame e BNDES Automático obtidos pela usina durante as últimas cinco safras, considerando a safra em que a usina foi amostrada. O BNDES Finame *Leasing* não foi considerado na composição do indicador de financiamentos pois representam 1,16% e a operação mais recente é de 2011, 2 anos antes do primeiro ano-safra da série

²⁴ Ver *website* do BNDES:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/consulta-operacoes-bndes/>

²⁵ Ver Milanez e Nyko (2012), p. 76.

amostrada. Já o BNDES Finame Agrícola não foi considerado por ser voltado exclusivamente para atividade agrícola, e a ótica desta pesquisa é industrial.

Conforme destaca o *website*²⁶ do BNDES, o FINAME tem como objetivo financiar a “*produção e aquisição de máquinas e equipamentos nacionais credenciados no BNDES*”, enquanto o BNDES Automático corresponde a investimentos menores ou iguais a 20 milhões de reais voltados ao aprimoramento dos ativos fixos, seja via modernização, seja via desenvolvimento de pesquisas²⁷.

A Figura 11 mostra a distribuição geográfica dos recursos financiados para as usinas amostradas, em milhões de reais. Considerando as linhas BNDES Finame e a BNDES Automático, o Estado de São Paulo recebeu 53,17% de todos os recursos liberados entre 2002 e 2016. Nyko e Milanez (2012) já destacaram que a maior parte dos créditos indiretos foram alocados na região Centro-Sul, especialmente no Estado de São Paulo que, em 2011, concentrou 45% dos recursos liberados para o setor.

Figura 11 - Distribuição dos produtos "FINAME" e BNDES Automático" por unidades federativas. Valores acumulados entre 2002 e 2016. R\$ de 2016, deflacionados pelo IPCA.

Fonte: Elaboração própria.

²⁶ Ver *website* do BNDES para maiores detalhes da linha de financiamento: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/finame>.

²⁷ Ver *website* do BNDES para mais detalhes da linha de financiamento: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/bndes-automatgico>.

Como cada região possui representatividade diferente, uma vez que possuem maior ou menor parcela da cultura de cana-de-açúcar nacional, a Figura 12 apresenta os montantes para cada microrregião nacional, mas considerando o montante financiado amostrado por capacidade de moagem instalada amostrada. Em outras palavras, a Figura 11 destaca a proporção relativa de crédito recebido ao tamanho da indústria em cada região. Esse indicador explicita maiores concentrações de crédito no sul de Goiás, Triângulo Mineiro e sul do Mato Grosso do Sul, regiões em que foram instaladas diversas usinas a partir dos anos 2000, acompanhando a maior demanda de etanol pela expansão da frota *flex-fuel*.

Figura 12 - Distribuição espacial do montante de financiamentos obtidos pela linha FINAME e Automático do BNDES entre 2002 e 2016. Dados exclusivos para a amostra de 121 usinas utilizadas na pesquisa. Valores em R\$/t de capacidade de moagem instalada. Valores em R\$ 2016*.

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2017) e PECEGE (2017).

3.3. Evidências de ineficiência técnica

Os testes utilizados para verificar se há a presença de ineficiência foram os descritos por Schmidt e Lin (1984) e Coelli (1995), conforme apresentado em Kumbhakar e Horncastle

(2015). Para tanto, adotou-se inicialmente um modelo *Pooled*, ou seja, com os dados empilhados para as quatro safras mencionadas. Os testes foram realizados para cada forma funcional apresentada (*Cobb-Douglas* e *Translog*). Além disso, realizou-se o teste de Schmidt e Lin (1984) considerando modelos em painel, com efeitos fixos e efeitos aleatórios para ambas as formas funcionais.

O teste de hipótese proposto por Schmidt e Lin (1984) verifica se os resíduos do modelo apresentam distribuição assimétrica ao avaliar os momentos dessa distribuição. A hipótese nula do teste é de que não há assimetria na distribuição dos resíduos, ou seja, a estimação é compatível com a do método de Mínimos Quadrados Ordinários. Quando há evidência de que a distribuição dos resíduos é assimétrica não se aceita a hipótese nula e, assim, a variável de erro pode ser desagregada em dois componentes: um com média zero e variância constante e outro correspondente à ineficiência técnica. A limitação desse teste é que os valores críticos não possuem uma distribuição padrão e os valores críticos foram tabulados por estudos, como o de D'Agostino e Pearson (1973).

Já o teste de hipótese proposto por Coelli (1995) é uma forma alternativa do teste proposto por Schmidt e Lin (1984). Coelli (1995) verificou que, sob a hipótese nula do teste de Schmidt e Lin (1984), o terceiro momento da distribuição dos resíduos é assintoticamente distribuído como uma normal padronizada. A vantagem desse teste é, portanto, que os valores críticos são facilmente obtidos.

Os resultados dos testes de hipóteses estão resumidos na Tabela 10. Rejeita-se a normalidade da distribuição dos resíduos em todas as combinações de testes, modelos e formas funcionais.

Tabela 10 - Evidências de ineficiência técnica.

Modelo	Forma funcional	Teste	Variável	Valor-p	Decisão
Pooled	Cobb-Douglas	Schmidt e Lin (1984)	ε_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
		Coelli (1995)	ε_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
	Translog	Schmidt e Lin (1984)	ε_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
		Coelli (1995)	ε_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
Painel (efeitos fixos)	Cobb-Douglas	Schmidt e Lin (1984)	u_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
			μ_{it}	0,0194	Rejeita-se H_0
	Translog		u_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
			μ_{it}	0,0006	Rejeita-se H_0
Painel (efeitos aleatórios)	Cobb-Douglas	Schmidt e Lin (1984)	u_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
			μ_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
	Translog		u_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0
			μ_{it}	0,0000	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaboração própria.

3.3.1. Outros indicadores que podem afetar o nível de eficiência das usinas

Uma vez detectada a evidência de ineficiência técnica na amostra, ou seja, as usinas não produzem com eficiência plena, é interessante utilizar indicadores disponíveis na base de dados para captar quais os determinantes para o nível de eficiência da usina. A Tabela 11 apresenta os indicadores selecionados para captar os determinantes do nível de eficiência das usinas. Já a Tabela 12 destaca o efeito esperado, *a priori*, de cada variável sobre a eficiência das usinas.

Tabela 11 - Descrição das variáveis testadas como possíveis determinantes do nível de eficiência das usinas.

Variável	Unidade	Descrição
Raio médio	km ²	Distância radial média entre a usina e o canavial.
Mix de etanol	%	Participação da produção de etanol na produção industrial total, medida em ART
Horas de Moagem	h	Número de horas em que a usina efetivamente processou cana-de-açúcar
BNDES	R\$/t	Total de financiamento recebido pelo FINAME e Automático acumulado nas últimas 5 safras
Grupo	<i>Dummy</i>	Variável binária para indicar quais usinas pertencem a um grupo industrial
Nordeste	<i>Dummy</i>	Variável binária para indicar se a usina está localizada na região Nordeste

Fonte: Elaboração própria.

O “Raio médio” representa a distância média entre a usina e o canavial. Nesse sentido, entende-se que, quanto maior a distância percorrida para captação da matéria prima, maior será o desafio logístico de manter o fluxo produtivo industrial produzindo continuamente.

A variável “*Mix* de etanol” corresponde à parcela de ART encaminhado para a produção de etanol. Como o etanol passa por processos de fermentação e destilação, a quantidade de açúcar consumido para gerar o produto industrial é maior que na produção de açúcar, visto que as leveduras consomem parte do açúcar para atividades metabólicas individuais durante o processo de produção de etanol. Detalhes do processo industrial da produção de açúcar e etanol podem ser obtidos em Fernandes (2011).

A variável “Horas de moagem” representa o tempo de atividade efetiva da indústria. Nesse sentido, espera-se que quanto maior o número de horas de moagem, maior seja a eficiência na produção agroindustrial, uma vez que a ociosidade da indústria será reduzida.

Entre as diversas formas de compor a variável “BNDES”, optou-se por considerar a quantidade de crédito que cada usina acumulou nas últimas cinco safras (*i.e.*, um ciclo comum da produção canavieira). Ao final da estimação de eficiência foi realizada uma análise de correlação entre as diferentes formas de avaliar esse indicador com o nível de eficiência técnica

obtida. Ademais, espera-se que a facilidade de acesso ao crédito afete positivamente a eficiência das usinas, uma vez que promove maior facilidade na renovação e inovação dos bens de capital.

A variável binária “Grupo” indica se a usina atua de forma individual ou possui uma administração compartilhada com outras usinas, ou seja, faz parte de um grupo. Existem usinas que pertencem a grupos e também conseguem compartilhar matéria-prima e outros ativos empregados na produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol. Nesse sentido, espera-se que o efeito dessa variável seja positivo para o nível de eficiência, seja pelas praticidades técnicas, seja pela maior facilidade de obtenção de crédito privado, ou pela transferência de tecnologia.

Por fim, a variável “Nordeste” corresponde a uma binária indicadora da localização geográfica da usina. Existem diversas características ligadas à produção sucroenergética no Nordeste que diferem das observadas no Centro-Sul, entre elas, o ciclo produtivo da cana-de-açúcar, o mercado ao qual as usinas atendem e, também, o momento histórico em que foram instaladas.

Tabela 12 - Hipóteses para a relação entre as características produtivas e o nível e eficiência das usinas.

Variável	Unidade	Hipótese
Raio médio	km ²	Afeta negativamente a eficiência das usinas
Mix de etanol	%	Afeta negativamente a eficiência das usinas
Horas de moagem	h	Afeta positivamente a eficiência das usinas
BNDES	R\$/t	Afeta positivamente a eficiência das usinas
Grupo	<i>Dummy</i>	Afeta positivamente a eficiência das usinas
Nordeste	<i>Dummy</i>	Afeta negativamente a eficiência das usinas

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 13 resume a estatística descritiva das variáveis testadas como possíveis determinantes da eficiência produtiva das usinas. Entre elas, destaca-se a heterogeneidade intra-regional do uso de financiamentos do BNDES, bem como da presença de grupos na região. A variável BNDES, por exemplo, apresenta elevada concentração em todas as regiões: embora o financiamento médio nas regiões Expansão, Nordeste e Tradicional tenha sido de R\$ 15,28/t,

R\$ 2,92/t e R\$ 8,98/t, respectivamente, 50% das usinas em cada uma das regiões obteve financiamento igual à zero (Tabela 14).

Tabela 13 - Estatística descritiva das variáveis selecionadas como componentes de ineficiência.

Região / Variável	N	Mínimo	Média	Máximo	Coef. Var.
<i>Expansão</i>					
Raio médio (km ²)	134	9,48	26,61	49,70	0,28
Mix de etanol (%)	114	0,00%	62,00%	100,00%	0,43
Horas de moagem (h)	133	45,68	3.734,16	6.096,00	0,52
BNDES (R\$/t)	134	0,00	15,28	139,28	1,90
Grupo (<i>Dummy</i>)	134	0,00	0,22	1,00	1,91
<i>Nordeste</i>					
Raio médio (km ²)	56	10,00	17,33	30,40	0,24
Mix de etanol (%)	48	0,00%	37,00%	100,00%	0,57
Horas de moagem (h)	57	200,40	2.785,42	5.277,33	0,55
BNDES (R\$/t)	58	0,00	2,92	42,10	2,87
Grupo (<i>Dummy</i>)	58	0,00	0,33	1,00	1,45
<i>Tradicional</i>					
Raio médio (km ²)	121	9,00	27,77	58,40	0,27
Mix de etanol (%)	109	0,00%	54,00%	100,00%	0,47
Horas de moagem (h)	123	0,00	3.587,11	6.408,00	0,54
BNDES (R\$/t)	123	0,00	8,98	65,17	1,67
Grupo (<i>Dummy</i>)	123	0,00	0,28	1,00	1,62

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Distribuição amostral das variáveis selecionadas como componentes de ineficiência.

Região / Variável	N	p25	p50	p75	p95
<i>Expansão</i>					
Mix de etanol (%)	114	43,00%	53,00%	100,00%	100,00%
BNDES (R\$/t)	134	0,00	0,00	19,24	78,14
Raio médio (km ²)	134	21,10	26,56	31,70	37,50
Horas de moagem (h)	133	3.320,00	4.643,10	4.964,86	5.736,00
<i>Nordeste</i>					
Mix de etanol (%)	48	25,00%	31,00%	40,00%	100,00%
BNDES (R\$/t)	58	0,00	0,00	0,00	30,40
Raio médio (km ²)	56	15,00	17,00	19,95	25,00
Horas de moagem (h)	57	1.529,58	3.162,00	3.796,62	4.979,50
<i>Tradicional</i>					
Mix de etanol (%)	109	38,00%	46,00%	58,00%	100,00%
BNDES (R\$/t)	123	0,00	0,00	15,21	39,36
Raio médio (km ²)	121	23,11	27,17	31,30	40,90
Horas de moagem (h)	123	2.967,50	4.479,12	4.822,44	5.545,20

Fonte: Elaboração própria.

Nota: p25 = 25º percentil, p50 = 50º percentil, p75 = 75º percentil e p95 = 95º percentil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a estimação dos resultados do modelo, seguiu-se as etapas apresentadas na Seção 3.1. Dessa maneira, a primeira etapa consiste em estimar os modelos em painel para as diferentes formas funcionais avaliadas. Os resultados dos ajustes para a função *Cobb-Douglas* estão na Tabela 15, e os ajustes para os modelos da função *Translog* estão resumidos na Tabela 16²⁸.

Em relação à forma funcional *Cobb-Douglas*, o Teste de Hausman²⁹ rejeitou a hipótese nula de que o modelo de painel com efeitos aleatórios seja o mais apropriado. Já para a forma funcional *Translog*, o mesmo teste não rejeita a hipótese nula de que o modelo com efeitos aleatórios é o mais consistente³⁰. Além disso, a hipótese nula de retornos constantes à escala não é rejeitada em nenhum dos modelos em painel e formas funcionais analisadas. Em resumo, os modelos CD_FE, TL_FE e TL_RE são consistentes e, o modelo TL_RE, mais apropriado³¹, e todos eles apresentam retornos constantes à escala.

²⁸ Os ajustes do modelo *Pooled* também foram reportados, embora o modelo não seja apropriado por não controlar características individuais das unidades amostradas. Em outras palavras, o modelo *Pooled* considera que as características não observadas pelo modelo são idênticas entre as unidades amostradas

²⁹ Ver Baltagi (2006) para detalhes do Teste de Hausman. Baltagi (2006, p.19) destacou que é comum a avaliação equivocada do Teste de Hausman, na qual pesquisadores adotam o modelo de efeitos fixos a partir da rejeição da hipótese nula ou adotam efeitos aleatórios a partir da não rejeição da hipótese nula.

³⁰ Embora não sejam consistentes, os resultados a partir do modelo CD_RE foram reportados no trabalho, mas não foram interpretados.

³¹ A vantagem do modelo com efeitos aleatórios é possuir mais graus de liberdades que seu equivalente com efeitos fixos. Ver Baltagi (2006).

Tabela 15 - Ajustes econométricos da forma funcional *Cobb-Douglas* para diferentes modelos

	<i>Pooled</i>	FE	RE
<i>K</i>	0,944*** (0,0741)	0,485* (0,210)	0,937*** (0,0753)
<i>L</i>	0,0388 (0,0497)	0,0346 (0,0961)	0,0383 (0,0506)
<i>H</i>	0,0355 (0,0576)	0,0148 (0,0934)	0,0434 (0,0581)
<i>S</i>	0,0460** (0,0165)	0,0894* (0,0355)	0,0462** (0,0167)
<i>Constante</i>	-2,442*** (0,600)	4,091 (3,109)	-2,438*** (0,622)
<i>N</i>	216	216	216
<i>Hausman (Prob > χ^2)</i>		0,0636	
<i>Retorno à escala (valor-p)</i>		0,1055	0,2752

Fonte: Elaboração própria.

Valor dos coeficientes acompanhados dos respectivos desvios-padrão entre parênteses.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1

Tabela 16 - Ajustes econométricos da forma funcional *Translog* para diferentes modelos.

	<i>Pooled</i>	FE	RE
<i>K</i>	0,386*** (0,0892)	0,121 (0,208)	0,390*** (0,0897)
<i>L</i>	-0,0272 (0,0498)	0,131 (0,110)	-0,0226 (0,0506)
<i>H</i>	0,485*** (0,0721)	0,575*** (0,125)	0,485*** (0,0725)
<i>S</i>	0,210*** (0,0281)	0,148* (0,0619)	0,207*** (0,0284)
<i>K*K</i>	0,0338 (0,363)	1,269 (0,761)	0,103 (0,366)
<i>L*L</i>	0,0864 (0,172)	0,0593 (0,342)	0,0903 (0,173)
<i>S*S</i>	0,0301* (0,0151)	0,0113 (0,0282)	0,0300* (0,0153)
<i>H*H</i>	0,466** (0,168)	0,732* (0,310)	0,486** (0,171)
<i>K*L</i>	-0,167 (0,194)	0,251 (0,301)	-0,146 (0,194)
<i>K*S</i>	0,215* (0,0857)	0,136 (0,159)	0,207* (0,0870)
<i>K*H</i>	-0,363 (0,229)	-1,230** (0,427)	-0,407 (0,232)
<i>L*H</i>	0,239 (0,167)	-0,177 (0,267)	0,221 (0,168)
<i>H*S</i>	-0,213** (0,0723)	-0,182 (0,138)	-0,206** (0,0732)
<i>L*S</i>	0,0291 (0,0280)	-0,0293 (0,0825)	0,0275 (0,0281)
<i>Constante</i>	12,47*** (0,0309)	12,54*** (0,0867)	12,47*** (0,0315)
<i>N</i>	216	216	216
<i>Hausman (Prob > χ^2)</i>		0,1538	
<i>Retorno à escala (valor-p)</i>		0,2541	0,1415

Fonte: Elaboração própria.

Valor dos coeficientes acompanhados dos respectivos desvios-padrão entre parênteses.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

A escolha entre as formas funcionais ocorreu pela utilização do teste de Wald³². Por definição, a forma funcional *Translog* pode ser idêntica à forma funcional *Cobb-Douglas* caso as variáveis cruzadas tenham valor nulo. Nesse sentido, testou-se o ajuste dos modelos *Translog* com efeitos fixos e *Translog* com efeitos aleatórios contra a hipótese nula de que todas as demais variáveis diferentes da forma *Cobb-Douglas* sejam nulas. Em ambos os testes, a hipótese nula foi rejeitada a 1% de significância, ou seja, a forma *Translog* é mais ajustada que a forma *Cobb-Douglas* em ambos os modelos testados. Em resumo, o modelo CD_FE é menos ajustado que os modelos TL_FE e TL_RE.

Tabela 17 - Teste de Wald para decisão entre forma funcional *Translog* e *Cobb-Douglas*.

Hipótese nula (H_0)	Modelo	Decisão
$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \beta_{jk} \ln X_{ji} \ln X_{ki} = 0$	Efeitos fixos	Rejeita-se H_0 (***)
	Efeitos aleatórios	Rejeita-se H_0 (***)

Fonte: Elaboração própria.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

A segunda etapa prevê a estimação do componente residual de ineficiência, ou seja, o termo u_{it} . A estimação foi realizada e reportada para todos os modelos analisados nesta pesquisa. Destaca-se que o teste de razão de verossimilhança rejeita a hipótese nula de que o modelo TL_FE apresente $u_{it} = 0$, ou seja, rejeita-se que o componente de ineficiência residual seja nulo a 1% de significância. O mesmo resultado é observado para o modelo TL_RE, embora ao nível de 5% de significância. Para os modelos obtidos a partir da forma funcional *Cobb-Douglas*, o mesmo resultado foi obtido ao nível de 10% de significância.

Observa-se que, entre as variáveis selecionadas como potenciais determinantes do nível de ineficiência técnica residual, apenas a variável horas de moagem foi significativa para os modelos CD_FE, TL_FE e TL_RE, com sinal contrário ao esperado, ainda que apresente magnitude próxima a zero. Por outro lado, a constante do modelo foi significativa ao nível de 1% para os três modelos citados.

³² Wooldridge (2010) apresentou o teste de Wald, utilizado para testar o valor de parâmetros estimados contra a hipótese nula de serem iguais a zero.

Tabela 18 - Resultados do modelo para o componente de ineficiência residual.

	CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
<i>frontier</i>				
<i>onee</i>	0,0698** (0,0268)	0,0887* (0,0387)	0,0817*** (0,0185)	0,0808** (0,0291)
<i>usigmas</i>				
Raio médio	0,0126 (0,0438)	0,0234 (0,0555)	0,0206 (0,0324)	0,00668 (0,0462)
Mix de etanol	-0,149 (1,248)	0,639 (1,826)	0,520 (0,838)	-0,765 (1,221)
Horas de moagem	0,000670* (0,000279)	0,000360 (0,000248)	0,000786*** (0,000211)	0,000711** (0,000243)
BNDES	0,0107 (0,0121)	-0,0286 (0,0266)	0,0127 (0,00690)	-0,00598 (0,0161)
Grupo	-0,584 (0,783)	0,0349 (0,856)	-0,437 (0,558)	-0,220 (0,813)
Nordeste	-0,0834 (1,296)	1,936 (1,055)	0,601 (0,809)	0,945 (0,962)
Constante	-7,843*** (2,115)	-6,878** (2,303)	-8,784*** (1,586)	-7,255*** (2,050)
<i>vsigmas</i>				
Constante	-3,430*** (0,114)	-2,778*** (0,109)	-4,037*** (0,123)	-3,170*** (0,108)
Teste LR	10,3365*	10,7356*	28,0153***	13,5534**
<i>N</i>	216	216	216	216

Fonte: Elaboração própria.

Valor dos coeficientes acompanhados dos respectivos desvios-padrão entre parênteses.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

¹ LR corresponde à *Likelihood Ratio*, ou, razão de verossimilhança.

A terceira etapa, por sua vez, prevê a estimação do componente de ineficiência persistente, ou seja, η_i . Novamente, a estimação foi realizada e reportada para todos os modelos analisados nesta pesquisa. Destaca-se que o teste de razão de verossimilhança não rejeita a hipótese nula de que o modelo TL_RE apresente $\eta_{it} = 0$, ou seja, não se rejeita que o componente de ineficiência persistente seja nulo. Por outro lado, sob o modelo TL_FE, a hipótese nula de que $\eta_{it} = 0$ é rejeitada a 1% de significância. O mesmo resultado foi obtido a partir do modelo CD_FE.

Tabela 19 - Resultados do modelo para o componente de ineficiência persistente.

	CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
<i>frontier</i>				
<i>onee</i>	0,263*** (0,0430)	0,0119* (0,00575)	0,0726* (0,0294)	0,00588 (0,00561)
<i>usigmas</i>				
Raio médio	-0,00487 (0,0211)	0,0437 (0,0714)	-0,199* (0,0984)	-0,0450 (0,167)
Mix de etanol	-0,429 (0,580)	3,101 (2,394)	0,0698 (1,553)	-1,360 (1,865)
Horas de Moagem	-0,00000214 (0,0000888)	-0,000176 (0,000255)	0,000131 (0,000219)	0,000238 (0,000303)
BNDES	-0,0302** (0,0105)	-0,0343 (0,0270)	-0,0688 (0,0483)	-0,0257 (0,0511)
Grupo	0,828* (0,353)	-0,185 (0,991)	0,721 (0,776)	-0,343 (1,451)
Nordeste	1,866*** (0,464)	2,654 (1,714)	1,090 (0,924)	0,211 (1,339)
Constante	-2,370** (0,832)	-11,22*** (3,145)	-1,007 (2,269)	-8,826* (3,617)
<i>vsigmas</i>				
Constante	-3,100*** (0,216)	-6,578*** (0,104)	-2,920*** (0,102)	-7,774*** (0,121)
Teste LR	74,0726***	11,4894*	32,861332***	4,5116
N	216	216	216	216

Fonte: Elaboração própria.

Valor dos coeficientes acompanhados dos respectivos desvios-padrão entre parênteses.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

¹ LR corresponde à *Likelihood Ratio*, ou, *razão de verossimilhança*.

A Tabela 19 apresenta também a relação entre as variáveis selecionadas com o nível de ineficiência técnica persistente. Novamente, as variáveis selecionadas para análise não foram consistentemente explicativas em todos os modelos. Os resultados observados a partir da especificação CD_FE sugerem que usinas localizadas no Nordeste e as usinas pertencentes a grupos são mais ineficientes (menos eficientes), e que o acesso à crédito reduz a ineficiência (aumenta a eficiência) das usinas analisadas. Contudo, esses resultados não foram observados nos demais modelos.

Já os resultados a partir do modelo TL_FE sugerem que há alguma evidência, embora pequena, de que há uma relação negativa entre o raio médio e o nível de ineficiência das usinas (ou positiva entre o nível de eficiência e o raio médio). Esse resultado contraria a expectativa *a priori* e não é captado por nenhum outro modelo.

Ademais, os resultados relacionados ao modelo TL_RE apresentam baixa significância estatística até mesmo para a constante do nível de ineficiência, o que leva à não rejeição da hipótese nula de que não há ineficiência técnica persistente. Em outras palavras, a partir do modelo TL_RE, as variações no nível de eficiência das usinas ocorrem apenas por limitações conjunturais, ou seja, elementos que podem ser ajustados ao longo do tempo.

Obtidos os componentes de ineficiência, a eficiência técnica geral (OTE) pode ser calculada³³ conforme apresentado na expressão (9), na seção 3.1. Uma vez que o coeficiente de ineficiência persistente é nulo, a eficiência geral das usinas sob o modelo TL_RE ocorre basicamente pelas alterações no nível de eficiência residual. A eficiência média estimada a partir do modelo CD_FE foi 74%, enquanto para o modelo TL_FE foi 86% e para TL_RE, foi de 92%. Xavier (2014), por exemplo, estimou a eficiência técnica das usinas em 72%. Conforme aponta Kumbhakar, Wang e Horncastle (2015), não separar as heterogeneidades individuais de cada firma de seus respectivos níveis de ineficiência pode enviesar o nível de eficiência geral. Nesse sentido, a presente pesquisa consegue realizar tal separação por contar com um painel de quatro safras.

A Figura 13 apresenta a distribuição dos índices de eficiência das usinas obtidos da estimação de cada um dos modelos estimados. A Figura 14, por sua vez, destaca a distribuição dos componentes da eficiência geral, ou seja, a eficiência persistente (PTE) e a eficiência residual (RTE). Os limites das linhas inferiores dos diagramas *box-plot* indicam o 5º percentil, enquanto os limites das linhas superiores indicam o 95º percentil. Em cada “caixa”, o limite inferior indica o 25º percentil e o limite superior indica o 75º percentil. Por fim, a linha intermediária indica a mediana (50º percentil), e o marcador indica a média.

³³ O ANEXO E apresenta os valores de OTE calculados para cada usina, em cada safra analisada.

Figura 13 - Distribuição da eficiência técnica geral para os modelos analisados.

Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 - Distribuição dos componentes residuais e persistentes da eficiência técnica para os modelos analisados.

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que 95% dos níveis de eficiência técnica geral obtidos a partir do modelo TL_FE foram superiores a 72%, enquanto, para o modelo TL_RE, 95% dos valores foram superiores à 86%. Salgado Júnior *et al.* (2013) indicaram que 78,59% dos índices de eficiência técnica calculados foram superiores à 70%. Considerando que os resultados são comparativos, *i.e.*, o nível de eficiência calculado é relativo às demais observações amostradas, a concentração do nível de eficiência corrobora com os resultados de Pereira e Silveira (2016), o qual indicaram que as usinas seguem um movimento conjunto de adoção de tecnologias já testadas pelo mercado.

Por fim, a Figura 15 destaca a evolução dos níveis médios de OTE, PTE e RTE ao longo das safras analisadas. Em geral, os níveis de eficiência foram maiores na safra 2013/2014. Conforme apresentado por PECEGE (2014), a safra 2013/2014 apresentou produtividade agrícola relativamente maior que nas demais safras, além de ter sido um ano com baixos índices pluviométricos durante o final de 2013 e início de 2014, o que favorece a extensão do período de safra e, portanto, as operações industriais. Por outro lado, a seca comprometeu os índices agrícolas nas safras subsequentes, como pode ser analisado em PECEGE (2015), PECEGE (2016), PECEGE (2017).

Figura 15 - Evolução temporal dos componentes do nível de eficiência a partir das diferentes especificações testadas: **A** apresenta os componentes para CD_FE, **B** para CD_RE, **C** para TL_FE e **D** para TL_RE.

Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se também a distribuição espacial do nível de eficiência para cada modelo, analisada na Figura 16. As microrregiões com maior média de eficiência técnica geral estão concentradas no Centro-Sul, como observado também por Xavier (2014) e Salgado Junior *et al.* (2013). No entanto, há divergência da classificação dos resultados obtida a partir do modelo utilizado. Por exemplo, os resultados a partir dos modelos com forma funcional *Translog*, nota-se que a adoção de efeitos fixos ou efeitos aleatórios, apesar de consistentes, geram resultados divergentes para algumas regiões, por exemplo, o sul de Goiás e o norte de Tocantins.

Figura 16 - Distribuição espacial do nível geral de eficiência técnica (OTE) para os modelos especificados na pesquisa. **A** apresenta os componentes para CD_FE, **B** para CD_RE, **C** para TL_FE e **D** para TL_RE.

Fonte: Elaboração própria.

A partir da obtenção do nível geral de eficiência técnica, foram realizados testes para verificar a relação do nível de eficiência com a distribuição geográfica das usinas e outras características produtivas, como a existência ou não de ao menos uma das certificações *ISO*³⁴. As certificações *ISO*, descritas em PECEGE (2015), são atribuídas para usinas com boas práticas de gerenciamento da produção. Dessa forma, foi esperado, *a priori*, que a posse de ao menos uma certificação fosse um indicador de melhor tecnologia para a produção e, portanto, maior eficiência técnica geral. Contudo, conforme apontado na Tabela 20, não foram obtidas evidências de que as usinas com certificações possuam, em média, maior eficiência técnica.

Os testes de média para a categoria “Grupo”, por sua vez, foram significativos e com impacto contrário ao esperado quando realizados a partir dos modelos CD_FE e TL_FE, mas não foi significativo para o modelo TL_RE. Entende-se que a variável Grupo apresente alguma evidência de que as usinas amostradas, pertencentes a grupos, apresentaram menor eficiência técnica geral, em média, durante as safras analisadas.

Já as usinas localizadas no Nordeste apresentaram menor eficiência técnica geral em todos os modelos analisados, a 1% de significância, exceto o TL_RE, no qual foi obtida significância a 10%. Esse resultado é semelhante ao observado por Xavier (2014) e Salgado Junior *et al.* (2013). Testou-se, também, possíveis diferenças entre as regiões componentes da região Centro-Sul. Assim como obtido em Xavier (2014), não há diferenças no nível médio de eficiência técnica geral entre as regiões Tradicional e Expansão.

Tabela 20 - Teste-t para comparação da média de eficiência técnica geral (OTE) entre usinas certificadas e não certificadas, pertencentes a um grupo e localizada ou não no Nordeste.

	CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
Certificação	0,0187 (0,87)	-0,00262 (-0,37)	0,00486 (0,42)	-0,00868 (-1,85)
Grupo	-0,0745*** (-3,79)	0,000134 (0,02)	-0,0350** (-3,10)	0,0111 (1,93)
Nordeste	-0,257*** (-15,19)	-0,0735*** (-11,53)	-0,103*** (-8,62)	-0,0164* (-2,38)
Expansão vs Tradicional	0,0284* (2,35)	0,000938 (0,20)	-0,00148 (-0,17)	0,00224 (0,42)
N	164	164	164	164

Fonte: Elaboração própria.

Valor dos coeficientes acompanhados dos respectivos desvios-padrão entre parênteses.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

³⁴ Sigla em inglês para: *International Organization for Standardization*. Ver também ISO (2017).

Por fim, foi testada a correlação entre diferentes composições da variável BNDES a fim de identificar as possíveis relações entre o período e quantidade de financiamento obtida com o nível de eficiência técnica geral. Conforme apresentado na Tabela 21, o nível OTE obtido a partir da forma funcional *Cobb-Douglas* possui correlação positiva e significativa a 1% com todas as diferentes especificações da variável BNDES. Por outro lado, os resultados obtidos a partir da forma funcional *Translog* foram diferentes. Comparando os modelos TL_FE e TL_RE, apenas a especificação que considera o volume de financiamento obtido nas últimas cinco safras foi significativo em ambos os modelos, a 5% e 10% respectivamente.

Tabela 21 - Correlação entre as diferentes especificações de financiamentos obtidos via BNDES e nível de eficiência técnica geral (OTE).

Variáveis criadas	CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
Financiamento acumulado desde 2002 até a safra corrente	0,316***	0,438***	0,187**	0,0755
Acumulado nas últimas 5 safras	0,346***	0,481***	0,207**	0,155*
Acumulado a partir da primeira safra amostrada	0,274***	0,363***	0,133	0,0258
Acumulado a partir da primeira safra amostrada, com um ano de defasagem	0,283***	0,361***	0,149*	0,00515
Obtido na safra	0,229***	0,337***	0,119	0,198**
Obtido na última safra	0,273***	0,346***	0,167*	0,0957
N	315	315	315	315

Fonte: Elaboração própria.

*** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aprimorar a eficiência das usinas sucroenergéticas brasileiras é essencial não apenas para os interesses microeconômicos do setor, que visa melhorar seus níveis de rentabilidade e eficiência, mas também para os objetivos macroeconômicos do país, com o intuito de promover maior segurança energética e avanços na política ambiental. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo estimar o nível de eficiência técnica no segmento industrial, e de seus potenciais determinantes, das usinas produtoras de açúcar e etanol no Brasil.

Para isso, foi utilizada a análise de fronteira estocástica, um método ainda pouco utilizados em estudos relacionados à eficiência do setor a partir da base de dados primária elaborada pelo PECEGE/CNA, com informações das safras 2013/2014 a 2016/2017. Os resultados indicam que a eficiência técnica geral dos processos industriais pode aumentar entre 8 p.p. e 26 p.p., considerando as regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil. Os níveis de eficiência técnica geral calculado a partir das diferentes especificações apresentadas são semelhantes ou superiores aos obtidos pelos demais trabalhos reportados.

Além disso, as usinas mais eficientes avaliadas neste trabalho encontram-se na região Centro-Sul do Brasil, assim como foi apontado pelos demais trabalhos disponíveis na literatura. Por outro lado, esta pesquisa identificou que os diferentes modelos utilizados resultaram em *rankings* de eficiência distintos. Esse resultado deve ser avaliado por pesquisas que visem a utilização do método apresentado neste trabalho para elaboração de *rankings* de eficiência geral das usinas.

As variáveis utilizadas para identificar os determinantes do nível de eficiência não foram conclusivas, ou por não apresentarem resultados significativos, ou por não terem sido observadas na maioria dos modelos testados. Em relação ao modelo mais apropriado, ou seja, com forma funcional *Translog* e efeitos aleatórios, não há ineficiência persistente ao longo do período analisado, apesar das evidências nos testes preliminares realizados.

Por isso, entende-se que há necessidade de que novos trabalhos utilizem novas variáveis, a fim de refinar os resultados obtidos nesta pesquisa. Além de outros indicadores, os próximos trabalhos devem utilizar painéis com maior número de safras para confirmar se não há evidências de ineficiência persistente. Em relação ao levantamento de dados primários sobre o setor, como o realizado por PECEGE/CNA, dada a relevância econômica do setor, recomenda-se que os questionários utilizados para a coleta de dados incluam maior detalhamento das

operações industriais, o que pode aprimorar substancialmente a qualidade da análise sobre os determinantes da eficiência técnica.

Ademais, a baixa evidência de ineficiências persistentes ao longo do tempo sugere que as variações do nível de eficiência das usinas não ocorram devido a fatores estruturais. Nesse sentido, as políticas de crédito ao setor podem apresentar melhores resultados se forem voltadas ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, como o etanol de segunda geração, o que promoveria um aumento da produtividade de todas as usinas que adotassem a nova tecnologia.

A elevada eficiência relativa entre as unidades amostradas indica que a heterogeneidade da agroindústria sucroenergética observada empiricamente ocorrem devido às condições conjunturais de cada região e, indiretamente, nas etapas agrícolas do processo produtivo. Dessa forma, é interessante que os próximos trabalhos realizem análises semelhantes às realizadas nesta pesquisa para o módulo de produção agrícola, ou seja, do plantio de cana-de-açúcar à colheita e transporte até a usina.

Sugere-se também que novos trabalhos focados na etapa industrial avaliem a eficiência alocativa dos recursos. Para isso, é necessário utilizar bases de dados que apresentem indicadores capazes de mensurar os preços relativos dos fatores de produção. Por isso, no levantamento dos dados primários, recomenda-se que sejam pesquisados também indicadores que detalhem os ativos imobilizados e bens de capital das usinas, para que a base de dados possa ser utilizada nesse tipo de análise.

Destaca-se que a produção de energia elétrica não foi considerada para a análise da eficiência produtiva das usinas neste trabalho. Incentiva-se que futuras pesquisas incluam a bioeletricidade como produto industrial e, para isso, atente-se que a cogeração de energia está relacionada, de forma geral, à quantidade de biomassa utilizada para geração de vapor, à capacidade das caldeiras, e à potência dos geradores. A produção de bioeletricidade pelas usinas é importante tanto para sua competitividade quanto para a diversificação da matriz energética brasileira.

REFERÊNCIAS

- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, n. 6, p. 21-37, 1977.
- BALTAGI, B. H. **Econometric Analysis of Panel Data**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2005.
- BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **BNDES - O banco nacional de desenvolvimento**, 2017. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>>. Acesso em: 23 out. 2017.
- BRASIL. Decreto nº 19.717, de 20 de Fevereiro de 1931. **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, p. 3736, Março 1931. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-19717-20-fevereiro-1931-518991-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 18 Julho 2017.
- BRASIL. Ratificação do Acordo de Paris, Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/NotaTecnicaMMA_RatificacaoAcordoParis.pdf>. Acesso em: 19 Julho 2017.
- CASTRO, N. J. D.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. D. A. Sugar-Ethanol Bioelectricity in the Electricity Matrix. In: SOUSA, E. L. L. D.; MACEDO, I. D. C. **Ethanol and Bioelectricity: Sugarcane in the Future of the Energy Matrix**. São Paulo: Gráficos Burti, 2011. Cap. 5, p. 136-153.
- COELLI, T. Estimators and Hypothesis Tests for a Stochastic Frontier Function: A Monte Carlo Analysis. **The Journal of Productivity Analysis**, Boston, p. 247-268, 1995.
- COELLI, T. et al. **A Primer on Efficiency Measurements for Utilities and Transport Regulators**. Washington, D.C.: THE WORLD BANK, 2003.
- COLOMBI, R.; MARTINI, G.; VITTADINI, G. **A stochastic frontier model with short-run and long-run inefficiency random effects**. Università Degli Studi di Bergamo. Bergamo, p. 19. 2011.
- CONSELHO DE PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CONSECANA. **Manual de Instruções**. CONSECANA. Piracicaba, p. 112. 2006.
- D'AGOSTINO, R.; PEARSON, E. S. Tests for Departure from Normality. Empirical Results for the Distributions of b_2 and $b^{0,5}$. **Biometrika**, v. 60, n. 3, p. 613-622, Dezembro 1973.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**. 3ª. ed. Piracicaba: STAB, 2011.
- FERRACIOLLI, K. G.; BACHA, C. J. C.; JACOMINI, R. L. Linhas de crédito do BNDES para o setor sucroenergético brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, p. 52-61, Jul./Ago./Set. 2016.

- FILHO, L. G. M.; MACEDO, I. C. Contribution of Ethanol to Climate Change. In: SOUSA, E. L. L. D.; MACEDO, I. D. C. **Ethanol and Bioelectricity**: Sugarcane in the Future of the Energy Matrix. São Paulo: Gráficos Burti, 2011. Cap. 3, p. 77-97.
- GASQUES, J. G. et al. Produtividade da agricultura: Resultados para o Brasil e estados selecionados. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 3, p. 87-98, 2014.
- HOFFMANN, R. **Estatística para Economistas**. 4ª. ed. São Paulo: Thomson, 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. Disponível em: <<https://www.iso.org/home.html>>. Acesso em: 04 Agosto 2017.
- JIANG, N.; SHARP, B. Technical efficiency and technological gap of New Zealand dairy farms: a stochastic meta-frontier analysis. **Journal of Productivity Analysis**, n. 44, p. 39-49, Janeiro 2015.
- JONES, C. L.; VOLLRATH, D. **Introduction to Economic Growth**. 2ª. ed. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 2013.
- KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions. **Econometrica**, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, Setembro 1986.
- KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic Frontier Analysis**. 1ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1, 2000.
- KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.-J.; HORNCastle, A. P. **A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata**. 1ª. ed. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1, 2015.
- MARQUES, P. V. **Custo de Produção Agrícola e Industrial de Açúcar e Álcool no Brasil na safra 2007/2008**. USP, ESALQ, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas. Piracicaba, p. 194. 2009. (Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil).
- MELO-BECERRA, L. A.; OROZCO-GALLO, A. J. Technical efficiency for Colombian small crop and livestock farmers: A stochastic metafrontier approach for different production systems. **Journal of Productivity Analysis**, n. 47, p. 1-16, Novembro 2016.
- MILANEZ, A. Y. et al. O déficit de produção de etanol no Brasil entre 2012 e 2015: determinantes, consequências e sugestões políticas. **BNDES Setorial**, v. 35, p. 277-302, 2012.
- MILLANEZ, A. Y.; NYKO, D. O futuro do setor sucroenergético e o papel do BNDES. In: SOCIAL, B. N. D. D. E. E. **BNDES 60 anos - Perspectivas Setoriais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: , v. I, 2011. p. 62-87.
- MORAES, M. A. F. D. D. **A Desregulamentação do Setor Sucroalcooleiro no Brasil**. Americana: Caminho Editorial, 2000.

- MORAES, M. A. F. D. D.; ZILBERMAN, D. **Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil: From State intervention to a Free Market**. 1ª. ed. Londres: Springer, 2014.
- NYKO, D. et al. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial**, v. 37, p. 399-442, Março 2013. Disponível em:
<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3710.pdf>. Acesso em: 19 Julho 2017.
- PEREIRA, C. N.; SILVEIRA, J. M. F. J. Análise Exploratória da Eficiência Produtiva das Usinas de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 01, p. 147-166, Março 2016.
- PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS - PECEGE. **Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2013/2014**. Universidad de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Piracicaba, p. 54. 2014.
- PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS - PECEGE. **Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2014/2015 e acompanhamento da safra 2015/2016**. Universidad de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Piracicaba, p. 78. 2015.
- PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS - PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2015/2016**. Universidad de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Piracicaba, p. 18. 2016.
- PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ECONOMIA E GESTÃO DE EMPRESAS - PECEGE. **Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar, Etanol e Bioeletricidade no Brasil: Fechamento da safra 2016/2017**. Universidad de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Economia, Administração e Sociologia. Piracicaba, p. 18. 2017.
- REINHARD, S.; LOVELL, C. A. K.; THIJSSSEN, G. Econometric efficiency of technical and environmental efficiency: an application to Dutch dairy farms. **American Journal of Agricultural Economics**, n. 81, p. 44-60, Fevereiro 1999.
- RODRIGUES, L. **Políticas públicas e determinantes da demanda por combustíveis leves no Brasil, 2003 - 2013**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 135. 2015.
- RODRIGUES, L.; BACCHI, M. R. P. Analyzing light fuel demand elasticities in Brazil using cointegration techniques. **Energy Economics**, v. 63, p. 322-331, Março 2017.

- SALGADO JUNIOR, A. P. et al. Análise envoltória de dados (DEA) para avaliação da eficiência operacional de usinas de cana-de-açúcar. **P&D em Engenharia de Produção**, Itajubá, v. 11, p. 58-73, 2013.
- SCHMIDT, P.; LIN, T.-F. Simple Tests of Alternative Specifications In Stochastic Frontier Models. **Journal of Econometrics**, North Holland, n. 24, p. 349-361, 1984.
- SILBERBERG, E.; SUEN, W. **The Structure of Economics: A Mathematical Analysis**. 3ª. ed. New York: McGraw-Hill, v. 1, 2001.
- SPOLADOR, H. F. S.; ROE, T. L. The Role of Agriculture on Recent Brazilian Economic Growth: How Agriculture Competes For Resources. **The Developing Economies**, v. 51, p. 333-359, Dezembro 2013.
- STATA CORP. Stata Statistical Software: Release 12. College Station, TX: StataCorp LP., 2011.
- THERIAULT, V.; SERRA, R. Institutional Environmental and Technical Efficiency: A Stochastic Frontier Analysis of Cotton Producers in West Africa. **Journal of Agricultural Economics**, v. 65, n. 2, p. 383-405, 2014.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2017. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: 15 Julho 2017.
- VIAN, C. E. D. F. **Agroindústria Canavieira: Estratégias Competitivas e Modernização**. Campinas: Átomo, 2003.
- WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric analysis of cross-sectional and panel data**. 2ª. ed. Londres: The MIT Press, 2010.
- XAVIER, C. E. O. **Análise de Eficiência do Setor Sucroenergético Brasileiro**. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 163. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Transformação das variáveis do modelo *Translog*

Conforme apontado por Coelli *et al.* (2003), p. 33, a transformação é feita ao garantir que as variáveis amostradas, em *log*, tenham média zero³⁵. De maneira prática, a transformação pode ser melhor entendida ao analisar a Tabela 22. Para cada observação de uma variável x , calculou-se o valor em *log* dessa observação e, em seguida, foi gerada a transformação proposta por Coelli *et al.* (2003), que consiste em obter a diferença entre a observação em *log* e a média do vetor em *log*. Por fim, destaca-se que o vetor da variável transformada possui média aritmética igual à zero, conforme proposto pelos autores citados.

Tabela 22 - Exemplo da transformação proposta por Coelli *et al.* (2003)

Observação	Variavel	Variável em log	Variável transformada
	x	$\log x$	$\log x - \text{média}(\log x)$
1	12,00	2,48	-1,02
2	48,00	3,87	0,37
3	81,00	4,39	0,89
4	93,00	4,53	1,03
5	78,00	4,36	0,85
6	52,00	3,95	0,45
7	17,00	2,83	-0,67
8	5,00	1,61	-1,89
Média	48,25	3,50	0,000000

Fonte: Elaboração própria, com base em dados aleatórios.

Informa-se, ainda, que os autores argumentaram que a transformação é apenas uma mudança conveniente de unidade de medidas e não altera os resultados obtidos.

³⁵ Isso é equivalente a dizer que as variáveis amostradas, que não estão em *log*, apresentam média geométrica igual a 1.

		Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol no Brasil Questionário: 2015/16	
CONSIDERAÇÕES E INSTRUÇÕES			
O PECEGE, com o apoio da CNA, realiza anualmente o Levantamento de Custos de Produção do Setor Sucroenergético do Brasil. O levantamento objetiva coletar informações sobre as safras anteriores, bem como contribuir com uma metodologia geral de contabilização de custos. Essa é uma pesquisa de extensão da ESALQ/USP que visa criar informações para apoiar o desenvolvimento das empresas do setor.			
Instruções de preenchimento			
1) <u>O que preencher:</u> campos de cor LARANJA são prioritários e devem ser preenchidos mesmo que o valor seja zero. Todos os campos de cor CINZA devem ser preenchidos, enquanto os de cor BRANCA não devem ser preenchidos; 2) <u>Explicações:</u> ao selecionar a célula a ser preenchida, serão apresentadas mensagens de entrada contendo explicações sobre o campo solicitado; 3) <u>Checaragem:</u> com o intuito de eliminar dados discrepantes, o questionário conta com ferramentas de pré-validação, limitando os valores inseridos a intervalos esperados; 4) <u>Envio dos dados:</u> solicitamos a submissão deste questionário preenchido através do site http://www.pecege.esalq.usp.br/portal/ ; 5) <u>Dúvidas e/ou sugestões:</u> entrar em contato através do email projetos@pecege.esalq.usp.br ou pelo telefone (19) 3435-1022.			
Para possibilitar a comparação entre usinas, pedimos que os dados sejam preenchidos com base em Abr/15 à Mar/16.(Ciclo completo de manutenção e produção da usina)			
DADOS GERAIS DA EMPRESA			
Nome da empresa	Abengoa - SÃO LUÍZ	SAFRA	
Cidade	PIRASSUNUNGA	2015/16	
UF	SP		
Raizão	Centro-Sul Tradicional (SP - Piracicaba)		
Interesse da usina			
Duplicação de nome			
DADOS AGRÍCOLAS			
Nome		Comentários	
Cargo			
Telefone			
Celular			
Email			
Manual Dados Agrícolas			
Áreas de produção de cana própria		Perfil geral do consórcio	
Área própria	%	Plantação de ano	Unidade
Área arrendada	%	Plantação de ano+meio	%
Área útil total	ha	Número médio de cortes por ciclo	cortes
Área de cana plantada há mais de 1 ano	ha	Número típico de cortes por ciclo	cortes
Área colhida para mude	ha	Idade média do carvalho	anos
Área colhida de cana plantada (último corte)	ha	Parâmetros de corte	
Área colhida de cana (último corte)	ha	Bala média ponderado	Unidade
Área cultivável não aproveitada na safra	ha	Colheita mecanizada	%
Área plantada na safra	ha	Colheita manual	%
Área de expansão de consórcio na safra	ha	Plantio mecanizado	%
Área ferteirada/irrigada	ha	Plantio manual	%
Área de cana plantada (último)	%	Consórcio de cana	Unidade
Área de cana semente (último)	%	ATI médio cana própria	kg/t
		ATI médio cana de fornecedores	kg/t
		ATI médio dos contratos arrendamento	kg/t
Arrendamento de cana e terra		Pagamentos de produção	
Valor médio do arrendamento	Unidade	Produzibilidade média	Unidade
Preço médio ATI na safra	R\$/kg ATI	Cana própria destinada para processamento	t/ha
Preço médio pago pela cana de fornecedores	R\$/t	Cana de terceiros	t
Preço médio pago pelo arrendamento	R\$/t	Produção total	t
		Produção de cana vendida a terceiros	t
		Utilização de muda no plantio	t/ha
		Balanço de mudas	t
		Prestação de serviço e benefícios para terceiros	Unidade
		Área de terceiros plantada pela usina	ha
		Cana de terceiros que foi colhida pela usina	%
		Área de terceiros colhida pela usina	ha
		Benefícios no pagamento de cana	Valor (R\$)
		Desconto no aç	Qtz Cana (t)
		Pagamento de água	
		Outros	
		Pagamento de royalties sobre variedades	Unidade
		Área total sobre a qual utiliza-se variedades protegidas	ha
		Montante gasto	R\$

Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol no Brasil
Questionário: 2015/16

DADOS INDUSTRIAIS

Nome	
Cargo	
Telefone	
Celular	
E-mail	

Mongem de cans	Unidade
Cans própria processada	t
Cans de terceiros	t
Cans total	t

Período de moagem		Unidade
Data de início de moagem		
Data de fim de moagem		
Dias de safra		dias

Indicadores de produtividade	Unidade
Horas de montagem	h
Horas de fábrica parada	h
Horas paradas por falta de peça ou chuva	h
Horas paradas por problemas industriais	h
Eficiência de aproveitamento do tempo	

Mtx de produção		Unidade
açúcar (% ART total)		%
etanol (% ART total)		%

Perfil geral da indústria		Unidade
Ano de construção da usina		
Sistema de extração		
Capacidade total de geração de bioeletricidade		MW
Possui alguma certificação?		
Questão 2		

Qualidade de matéria-prima	Unidade
Políscana (PC)	%
Fibra de cana	%
Pureza do caldo de cana	%
ATR de cana	kg/t

Perdas, rendimento Industrial e capacidade	Unidade
Perdas industriais comuns (LBTI) (% ART)	%
Perdas no estágio (% ART)	%
Rendimento de fermentação	%
Rendimento de destilação	%
Pureza do mal final	%
Rendimento Industrial do epícor	kg/t de cana
Rendimento Industrial do etanol	l/t de cana
Metodologia de rendimento utilizada	
Capacidade nominal de moagem estimada	t/safra

Balanço de bagagem			Unidade
Comercialização de bagagem			t

Manual
Dados Industriais

Comentarios

Produção		
Ativem		Unidade
branco		t
vinp		
outros		t
Basco		Unidade
arido		m ³
hidratado		m ³
outros fins		m ³
produtos químicos		Unidade
produzida		MWh
vendida		MWh
comprada		MWh
Semiproduzidos		Unidade
bagaco		t
torça de filtro		t
vinhaga		m ³
levedura		
mal (para venda)		
Sac (fiscal)		m ³

Aplicar comercializado a granel	
% aplicar a granel	

Programa m&e		
Atividade		Unidade
branco		R\$/t
VHP		R\$/t
outros		R\$/t
resina		Unidade
avulso		R\$/m³
hidratado		R\$/m³
outros		R\$/m³
resina sintética		Unidade
compra		R\$/MWh
verdes		R\$/MWh
Sub-produtos		Unidade
biogás		R\$/t
lavouras		R\$/t
resíduo final		R\$/t
óleo diesel		R\$/m³

Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol no Brasil Questionário: 2015/16
CRONOGRAMAS												
Nome _____ Cargo _____ Telefone _____ Celular _____ Email _____		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Manual Cronograma</div>										
Mês	CRONOGRAMA DE PRODUÇÃO							CRONOGRAMA DE COMERCIALIZAÇÃO			QUALIDADE CANA	PLUVIOMETRIA
	Horas Moagem h	Cana fornecida t	Moagem t	Açúcar t	Etanol seco m³	Etanol hidratado m³	Energia elétrica MWh	Apicar t	Etanol seco m³	Etanol hidratado m³	ATE Manual kg/h	Pluviometria mm
estoque inicial												
mar/15												
abr/15												
mai/15												
jun/15												
jul/15												
ago/15												
set/15												
out/15												
nov/15												
dez/15												
jan/16												
fev/16												
mar/16												
estoque final												
Total na safra												
COMENTÁRIOS												
Este campo está reservado para que os entrevistados coloquem suas observações, críticas, sugestões e demais comentários.

Levantamento de Custos de Produção de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol no Brasil Questionário: 2015/16
RESULTADOS				
Abaixo estão os resultados de custos de produção calculados com os dados inseridos nesse questionário.				
RESUMO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR PRÓPRIA		RESUMO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL DO PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR		
DESCRIÇÃO	Total ano anterior R\$	Total por tonelada R\$/t	DESCRIÇÃO	Total ano anterior R\$
Mecanização			I - Custo de cana	
Mão-de-obra			CDE	
Insumos			cana de fornecedores	
Arrendamentos			CDE cana própria	
Despesas administrativas			Depreciação	
Custo Operacional Efetivo (COE)			Remuneração do capital e terra	
Depreciação			II - Custo Industrial	
Formação do Canavial			Operação Industrial	
Máquinas			mão-de-obra	
Benfiteiros			insumos	
Irrigação			gás	
Custo Operacional Total (COT)			condutivos, lâmpadas e eletr.	
Remuneração do capital e terra			estruturas	
Remuneração da Terra			manutenção	
Remuneração do Capital			administração industrial	
Formação do Canavial			Depreciação Industrial	
Máquinas e implementos			Custo de Capital Industrial	
Benfiteiros			III - Despesas departamento administrativo	
Irrigação/Beneficiação			salários	
Custo Total			diversos	
			custos de capital de giro	
			Custo Total	

ANEXO C – Conversão da matéria prima em ART

Para converter a produção de açúcares em ART, Fernandes (2011, p. 41) demonstrou que:

$$ART_{açúcar} = \frac{AÇÚCAR}{0,95} \quad (12)$$

onde

ART_{açúcar} representa o total de ART presente nos açúcares produzidos na indústria

AÇÚCAR corresponde a toda a produção de sacarose.

Já para a produção de etanol,

$$ART_{etanol} = \sum_{i=1}^N \frac{Etanol_i}{k_i} \quad (13)$$

onde **ART**_{etanol} corresponde ao total de ART presente na produção dos diferentes tipos de etanol e, **Etanol**_{*i*}, representa cada tipo de etanol produzido pela usina. Já **k**_{*i*} refere-se à um fator de correção específico para cada tipo de etanol: para o etanol anidro, **k**_{*i*} = **0,6508**, enquanto para o etanol hidratado, **k**_{*i*} = **0,6791**.

Para converter tonelada de cana em tonelada de ART, tem-se que:

$$\%ART = \left(\frac{FC}{0,95} + c \right) * 100 * (1 - FC) * \left(\frac{1,0313}{100} - 0,00575 * FC \right) \quad (14)$$

onde **FC** é fibra da cana e **c** é uma constante obtida por um cálculo secundário, com particularidades diferentes para cada região produtora. Na região Centro-Sul, **c** é obtido pela expressão (15):

$$c = \frac{3,641}{100} - 0,0343 * PC \quad (15)$$

Já na região Nordeste:

$$c = \frac{3,3459}{100} - 0,02871 * PC \quad (16)$$

nas quais **c** é o coeficiente de interesse e **PC** refere-se à pureza do caldo da cana na indústria.

ANEXO D – Recursos liberados pelo BNDES FINAME e BNDES Automático.

Tabela 23 - Recursos liberados via BNDES FINAME e BNDES Automático entre 2002 e 2016 para as usinas amostradas na pesquisa. Valores em R\$ de 2016.

UF	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
AL	0	0	2.682	0	2.845	0	0	6.531	5.111	2.696	3.041	563	5.445	258	1.315	30.487
PB	0	0	0	0	2.170	1.928	1.412	4.317	10.233	8.075	4.400	2.242	11.886	0	0	46.662
PE	1.246	1.678	183	5.590	5.374	16.422	6.465	0	5.613	1.978	0	2.528	4.124	0	0	51.201
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.298	0	415	2.765	206	0	8.683
GO	6.037	3.621	26.804	18.528	31.992	186.592	81.651	100.294	232.720	92.302	98.037	177.000	172.988	19.627	30.264	1.278.456
MG	8.079	17.029	5.596	49.812	67.837	135.721	114.763	106.737	151.701	313.385	205.178	225.418	136.497	13.878	52.626	1.604.258
MS	0	0	0	0	279	23.673	0	49.198	75.430	52.746	242.747	44.654	5.894	0	0	494.621
MT	0	0	5.971	3.554	0	140	235	1.242	6.867	14.031	0	19.195	32.918	21.704	34.260	140.116
TO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.309	0	2.640	0	0	9.949
PR	0	0	0	2.559	0	14.172	10.587	27.646	20.641	11.684	17.949	23.095	51.412	5.062	0	184.807
SP	88.043	98.190	93.694	174.899	295.118	589.176	399.599	309.981	652.332	310.095	385.545	505.246	332.505	78.616	58.017	4.371.055
Total	103.405	120.518	134.929	254.942	405.616	967.822	614.711	605.946	1.160.648	812.291	964.207	1.000.355	759.074	139.350	176.482	8.220.295

Fonte: Elaboração própria.

ANEXO E – Eficiência técnica geral calculada para cada observação

Tabela 24 - Eficiência técnica geral calculada para cada observação do banco de dados.

(Continua)

Observação	USINA	Safrá	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
1	1	13	0,67369	0,903203	0,848161	0,955169
2	2	13	0,520439	0,908155	0,718154	0,957272
3	3	13	0,36739	0,86264	0,887579	0,955253
4	4	13	0,726687	0,962489	0,967716	0,978306
5	5	13	.	.	.	.
6	6	13	0,91395	0,986342	0,972452	0,981821
7	7	13	0,504952	0,920792	0,897268	0,962894
8	8	13	.	.	.	.
9	9	13	0,487877	0,879689	0,851891	0,960838
10	10	13	0,889665	0,955819	0,961428	0,974259
11	11	13	0,884551	0,971544	0,96968	0,977722
12	12	13	.	.	.	.
13	13	13	0,74934	0,954626	0,934358	0,972654
14	14	13	.	.	.	.
15	15	13	0,857195	0,938777	0,974531	0,972818
16	16	13	0,858933	0,959688	0,918485	0,973484
17	17	13	0,926331	0,975205	0,971047	0,979097
18	18	13	.	.	.	.
19	19	13	0,606713	0,886772	0,884102	0,956588
20	20	13	0,925551	0,953205	0,966437	0,979613
21	21	13	0,858439	0,956788	0,950751	0,975145
22	22	13	0,80081	0,912063	0,869366	0,960481
23	23	13	.	.	.	.
24	24	13	0,86535	0,95784	0,96344	0,976982
25	25	13	.	.	.	.
26	26	13	.	.	.	.
27	27	13	0,909186	0,977521	0,974644	0,979432
28	28	13	.	.	.	.
29	29	13	0,691232	0,941296	0,967892	0,96859
30	30	13	0,856401	0,972354	0,973696	0,979105
31	31	13	0,788909	0,95994	0,919641	0,977166
32	32	13	0,812962	0,964138	0,971246	0,977229
33	33	13	.	.	.	.
34	34	13	0,910261	0,958529	0,953903	0,976656
35	35	13	0,862863	0,949567	0,972256	0,973622
36	36	13	.	.	.	.
37	37	13	.	.	.	.
38	38	13	.	.	.	.
39	39	13	.	.	.	.
40	40	13	.	.	.	.

(Continua)

Observação	USINA	Safr	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
41	41	13	.	.	.	.
42	42	13	.	.	.	.
43	43	13	0,8644	0,955672	0,937918	0,97361
44	44	13	0,800387	0,967858	0,944823	0,981309
45	45	13	0,765469	0,934309	0,957475	0,980904
46	46	13	0,520441	0,935673	0,974823	0,975905
47	47	13	0,866494	0,957129	0,949888	0,974705
48	48	13	.	.	.	.
49	49	13	.	.	.	.
50	50	13	0,852423	0,970069	0,919572	0,979556
51	51	13	0,877447	0,962128	0,942562	0,974199
52	52	13	0,899434	0,96065	0,917929	0,971973
53	53	13	0,780784	0,952226	0,968158	0,975938
54	54	13	.	.	.	.
55	55	13	0,651579	0,953954	0,912875	0,973117
56	56	13	0,841518	0,955932	0,948991	0,975399
57	57	13	.	.	.	.
58	58	13	.	.	.	.
59	59	13	0,934308	0,992591	0,974103	0,988052
60	60	13	0,917862	0,989752	0,977824	0,985958
61	61	13	0,828259	0,927723	0,926907	0,979589
62	62	13	0,863566	0,9327	0,952983	0,980114
63	63	13	0,885382	0,951243	0,98128	0,980714
64	64	13	.	.	.	.
65	65	13	0,843894	0,94475	0,968768	0,976586
66	66	13	0,840897	0,915739	0,945107	0,978912
67	67	13	.	.	.	.
68	68	13	0,832664	0,956611	0,922843	0,974719
69	1	14	0,681587	0,888549	0,812962	0,883705
70	2	14	.	.	.	.
71	3	14	0,407276	0,844263	0,629994	0,890634
72	4	14	0,506399	0,855139	0,645044	0,866204
73	5	14	0,695983	0,925816	0,882723	0,922023
74	6	14	0,675703	0,884049	0,724864	0,906745
75	7	14	0,796847	0,963546	0,836085	0,89424
76	8	14	.	.	.	.
77	9	14	0,506621	0,898642	0,814542	0,904519
78	10	14	.	.	.	.
79	11	14	0,684279	0,891891	0,89925	0,893169
80	12	14	.	.	.	.
81	13	14	0,817509	0,903907	0,866055	0,890047
82	14	14	0,820782	0,944699	0,880027	0,918567
83	15	14	.	.	.	.

(Continua)

Observação	USINA	Safr	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
84	16	14	0,705372	0,898617	0,831639	0,887761
85	17	14	.	.	.	.
86	18	14	0,793799	0,893796	0,899197	0,901532
87	19	14	0,822667	0,926315	0,879329	0,925719
88	20	14	.	.	.	.
89	21	14	.	.	.	.
90	22	14	0,592202	0,861525	0,826252	0,904753
91	23	14	.	.	.	.
92	24	14	0,793904	0,899381	0,837772	0,883386
93	25	14	0,751	0,832162	0,773377	0,83769
94	26	14	0,774856	0,947912	0,837953	0,919906
95	27	14	0,780089	0,899178	0,810009	0,871481
96	28	14	0,814234	0,904924	0,887207	0,901139
97	29	14	.	.	.	.
98	30	14	.	.	.	.
99	31	14	0,661825	0,896309	0,873474	0,914445
100	32	14	0,772885	0,889391	0,879114	0,913114
101	33	14	0,778211	0,935259	0,907627	0,916485
102	34	14	0,738324	0,900463	0,800276	0,892613
103	35	14	0,765453	0,927644	0,882553	0,914201
104	36	14	.	.	.	.
105	37	14	0,763357	0,891228	0,786297	0,884516
106	38	14	.	.	.	.
107	39	14	0,835661	0,96219	0,879947	0,923664
108	40	14	0,491895	0,820938	0,725638	0,892769
109	41	14	.	.	.	.
110	42	14	0,611689	0,915552	0,746414	0,95736
111	43	14	0,770191	0,921521	0,805951	0,885385
112	44	14	.	.	.	.
113	45	14	.	.	.	.
114	46	14	.	.	.	.
115	47	14	0,525711	0,923163	0,872847	0,887991
116	48	14	0,425477	0,814458	0,726093	0,903437
117	49	14	0,805714	0,905273	0,907067	0,898392
118	50	14	0,781732	0,949343	0,827715	0,926691
119	51	14	0,793398	0,890041	0,887203	0,921363
120	52	14	.	.	.	.
121	53	14	0,716088	0,891458	0,848605	0,911629
122	54	14	0,41451	0,850703	0,705781	0,850152
123	55	14	0,826559	0,929823	0,860048	0,919229
124	56	14	0,774411	0,881823	0,869157	0,851927
125	57	14	0,61753	0,899929	0,842828	0,934874
126	58	14	0,807049	0,936503	0,839571	0,915681

(Continua)

Observação	USINA	Safr	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
127	59	14	.	.	.	.
128	60	14	0,795823	0,903433	0,813089	0,878995
129	61	14	0,804668	0,944341	0,79984	0,843798
130	62	14	0,760427	0,911595	0,86641	0,882986
131	63	14	.	.	.	.
132	64	14	0,741544	0,908298	0,905441	0,917195
133	65	14	.	.	.	.
134	66	14	0,797604	0,927575	0,90489	0,937695
135	67	14	0,7583	0,896168	0,784681	0,883928
136	68	14	0,835438	0,935403	0,872552	0,916068
137	69	14	0,742617	0,983477	0,605114	0,946896
138	70	14	0,845314	0,982558	0,866088	0,93265
139	71	14	0,77442	0,872444	0,831687	0,909666
140	72	14	0,818051	0,92886	0,883586	0,921457
141	73	14	0,827168	0,900108	0,90679	0,938935
142	74	14	0,813601	0,887696	0,829485	0,928364
143	75	14	.	.	.	.
144	76	14	0,773283	0,851344	0,80375	0,908188
145	77	14	0,793007	0,867914	0,876697	0,923731
146	78	14	.	.	.	.
147	79	14	0,726917	0,819866	0,884841	0,912834
148	80	14	0,768469	0,864657	0,864533	0,908672
149	81	14	.	.	.	.
150	1	15	0,693319	0,896075	0,831443	0,894499
151	2	15	0,655467	0,820357	0,818223	0,894184
152	3	15	0,409393	0,866654	0,65865	0,935797
153	4	15	0,757055	0,94057	0,838301	0,912291
154	5	15	.	.	.	.
155	6	15	0,640584	0,926365	0,892446	0,909188
156	7	15	0,692585	0,920168	0,698216	0,934505
157	8	15	0,805993	0,943319	0,850966	0,899976
158	9	15	0,860707	0,936167	0,831727	0,862369
159	10	15	0,489431	0,874385	0,864397	0,902678
160	11	15	0,679506	0,90565	0,821243	0,892193
161	12	15	0,771934	0,908519	0,890102	0,869985
162	13	15	.	.	.	.
163	14	15	.	.	.	.
164	15	15	0,823524	0,930859	0,908143	0,915911
165	16	15	.	.	.	.
166	17	15	0,796675	0,941021	0,889467	0,909325
167	18	15	.	.	.	.
168	19	15	0,564109	0,800393	0,807591	0,861494
169	20	15	0,798566	0,906276	0,85936	0,894994

(Continua)

Observação	USINA	Safrá	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
170	21	15	0,768204	0,856537	0,788828	0,874235
171	22	15	0,7697	0,93915	0,871039	0,909699
172	23	15	0,794153	0,909518	0,828628	0,88571
173	24	15	.	.	.	.
174	25	15	0,818466	0,943727	0,880932	0,910188
175	26	15	0,812911	0,924197	0,884444	0,888707
176	27	15	0,774373	0,883048	0,877018	0,918642
177	28	15	0,783582	0,938053	0,893021	0,916576
178	29	15	.	.	.	.
179	30	15	0,745917	0,886319	0,726289	0,877937
180	31	15	.	.	.	.
181	32	15	0,838097	0,95491	0,899426	0,928379
182	33	15	.	.	.	.
183	34	15	0,701148	0,908613	0,904379	0,923402
184	35	15	0,820443	0,916076	0,865611	0,907706
185	36	15	0,603153	0,87813	0,817421	0,913241
186	37	15	.	.	.	.
187	38	15	.	.	.	.
188	39	15	0,692062	0,919924	0,742499	0,902136
189	40	15	.	.	.	.
190	41	15	0,430434	0,789229	0,742293	0,921993
191	42	15	.	.	.	.
192	43	15	0,408286	0,783071	0,762312	0,863161
193	44	15	.	.	.	.
194	45	15	0,815157	0,908592	0,924693	0,952393
195	46	15	0,446811	0,816147	0,572441	0,88554
196	47	15	0,709519	0,890537	0,825551	0,907955
197	48	15	.	.	.	.
198	49	15	0,730733	0,903571	0,878896	0,912404
199	50	15	0,430893	0,861197	0,855614	0,827169
200	51	15	0,418734	0,809215	0,881328	0,865531
201	52	15	0,776235	0,86735	0,865337	0,859727
202	53	15	0,62322	0,905654	0,834518	0,943555
203	54	15	0,817537	0,908554	0,8675	0,900905
204	55	15	0,790358	0,925527	0,869208	0,912246
205	56	15	0,742008	0,870738	0,839459	0,882689
206	57	15	0,819503	0,907213	0,872815	0,901471
207	58	15	0,738878	0,911309	0,902683	0,922365
208	59	15	.	.	.	.
209	60	15	0,792497	0,937275	0,845875	0,860662
210	61	15	0,773399	0,90853	0,913284	0,893331
211	62	15	.	.	.	.
212	63	15	0,737262	0,90061	0,901486	0,899727

(Continua)

Observação	USINA	Safr	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
213	64	15	0,760291	0,910126	0,868232	0,933151
214	65	15	.	.	.	.
215	66	15	0,638836	0,900769	0,825507	0,92135
216	67	15	.	.	.	.
217	68	15	.	.	.	.
218	69	15	0,617385	0,879746	0,89859	0,931574
219	70	15	0,853544	0,961124	0,933047	0,96071
220	71	15	0,77813	0,9302	0,93033	0,982039
221	72	15	0,817161	0,910855	0,892724	0,894613
222	73	15	0,905795	0,981225	0,949866	0,969169
223	74	15	0,83049	0,965981	0,87204	0,92101
224	75	15	0,783949	0,885517	0,851472	0,90709
225	76	15	0,768631	0,888233	0,857814	0,923254
226	77	15	0,828145	0,920418	0,900394	0,917884
227	78	15	0,826066	0,889529	0,912949	0,916739
228	79	15	0,821822	0,877443	0,845519	0,919956
229	80	15	0,815299	0,924699	0,828453	0,947113
230	81	15	.	.	.	.
231	82	15	0,78954	0,872244	0,847181	0,901601
232	83	15	0,422106	0,797651	0,644488	0,863357
233	84	15	0,805591	0,885849	0,863284	0,903227
234	85	15	.	.	.	.
235	86	15	0,745521	0,838007	0,915764	0,911229
236	87	15	.	.	.	.
237	88	15	0,793188	0,89261	0,88946	0,911627
238	89	15	.	.	.	.
239	1	16	0,701694	0,904357	0,840832	0,90874
240	2	16	.	.	.	.
241	3	16	.	.	.	.
242	4	16	0,748449	0,923516	0,887107	0,902751
243	5	16	0,51255	0,807752	0,719396	0,937052
244	6	16	.	.	.	.
245	7	16	.	.	.	.
246	8	16	.	.	.	.
247	9	16	0,819022	0,929478	0,865085	0,906358
248	10	16	0,476568	0,890654	0,809646	0,920894
249	11	16	0,674484	0,903465	0,883438	0,901658
250	12	16	.	.	.	.
251	13	16	.	.	.	.
252	14	16	.	.	.	.
253	15	16	0,847803	0,920887	0,89462	0,939496
254	16	16	0,807041	0,911428	0,861939	0,893474
255	17	16	.	.	.	.

(Continua)

Observação	USINA	Safrá	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
256	18	16	.	.	.	.
257	19	16	0,858405	0,91597	0,894368	0,937714
258	20	16	0,592607	0,864617	0,797685	0,912212
259	21	16	.	.	.	.
260	22	16	0,753307	0,84207	0,785658	0,844282
261	23	16	0,765055	0,934623	0,870974	0,902941
262	24	16	0,798286	0,912957	0,84679	0,890549
263	25	16	0,81324	0,901879	0,879633	0,90356
264	26	16	0,807634	0,922493	0,873872	0,886356
265	27	16	0,642417	0,868643	0,828472	0,902271
266	28	16	.	.	.	.
267	29	16	0,784688	0,932904	0,819217	0,875317
268	30	16	0,716363	0,886081	0,86989	0,885625
269	31	16	.	.	.	.
270	32	16	0,349589	0,754677	0,81901	0,892383
271	33	16	.	.	.	.
272	34	16	0,910141	0,969423	0,937508	0,969793
273	35	16	0,844613	0,944567	0,9041	0,892385
274	36	16	0,496461	0,832136	0,774395	0,923015
275	37	16	.	.	.	.
276	38	16	0,687249	0,915219	0,797643	0,902168
277	39	16	0,608734	0,908561	0,758626	0,953102
278	40	16	0,682614	0,892747	0,718131	0,84029
279	41	16	.	.	.	.
280	42	16	0,727821	0,930044	0,970843	0,977137
281	43	16	0,527676	0,915926	0,852104	0,865276
282	44	16	0,428683	0,814029	0,77995	0,92086
283	45	16	0,80185	0,903365	0,891302	0,895325
284	46	16	.	.	.	.
285	47	16	0,774203	0,914897	0,886005	0,915651
286	48	16	0,776522	0,870139	0,868627	0,90896
287	49	16	.	.	.	.
288	50	16	0,480257	0,860372	0,778958	0,925838
289	51	16	0,714257	0,894426	0,843984	0,91155
290	52	16	.	.	.	.
291	53	16	.	.	.	.
292	54	16	0,799119	0,884028	0,903223	0,868962
293	55	16	0,613004	0,875845	0,873279	0,913347
294	56	16	0,759309	0,887702	0,844061	0,908317
295	57	16	0,790679	0,893176	0,850523	0,885244
296	58	16	.	.	.	.
297	59	16	0,798126	0,937285	0,956627	0,917428

(Conclusão)						
Observação	USINA	Safr	OTE			
			CD_FE	CD_RE	TL_FE	TL_RE
298	60	16	.	.	.	.
299	61	16	0,606891	0,90128	0,911238	0,902009
300	62	16	0,601979	0,857324	0,793238	0,862629
301	63	16	0,838678	0,95348	0,896958	0,946788
302	64	16	.	.	.	.
303	65	16	.	.	.	.
304	66	16	0,835945	0,951068	0,883753	0,950183
305	67	16	.	.	.	.
306	68	16	.	.	.	.
307	69	16	0,812722	0,935883	0,900788	0,917427
308	70	16	0,773412	0,889373	0,886457	0,915571
309	71	16	0,816938	0,928189	0,906505	0,915382
310	72	16	0,812021	0,9141	0,89574	0,935211
311	73	16	.	.	.	.
312	74	16	0,791972	0,896509	0,844087	0,947414
313	75	16	0,781057	0,893664	0,880061	0,913134
314	76	16	0,799144	0,890391	0,914008	0,878128
315	77	16	0,847603	0,933756	0,854095	0,931947

Fonte: Elaboração própria.